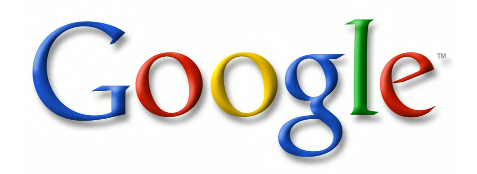



Eng92

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritter Theil:

Das Meer.

Zweite, neu bearbeitete Auflage.

Erster Band mit 10 Kupfertafeln.

Berlin 1878.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Seeufer-

und

Hafen-Bau.

Von

G. Hagen.

Erster Band.

Zweite, neu bearbeitete Auflage.

Mit einem Atlas von 10 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1878.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Vorwort.

Der ersten Ausgabe dieses dritten Theils des Handbuchs der Wasserbaukunst liess ich einige Worte über einen oft behandelten Gegenstand, nämlich über Theorie und Praxis, vorangehn, weil damals mehr als früher die Theorie in der Art der Praxis gegenübergestellt wurde, als ob beide sich gegenseitig ausschliessen. Dass meine Aeusserungen auch anderweit als zeitgemäss erkannt wurden, ersah ich mit Befriedigung, als ich dieselben in der Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins (Band IX, Seite 371) wiederfand.

Auch gegenwärtig sind die Auffassungen, denen ich entgegentrat, keineswegs beseitigt, doch beruhn sie weniger auf wirklicher Ueberzeugung, als auf sehr reellen Rücksichten. Sie sollen Oberflächlichkeit und selbst Unwissenheit beschönigen und werden daher verfochten werden, so lange sie irgend Glauben finden. Hiernach wäre es zwecklos, jene Vorrede noch zum dritten Mal zu veröffentlichen. Dagegen habe ich die Untersuchungen, welche den Zusammenhang der Erscheinungen mit den allgemeinen Naturgesetzen nachweisen, keineswegs unterdrückt, sondern im Gegentheil noch mehrfach erweitert, weil nur auf diesem Wege die Erfolge neuer Anlagen mit einiger Sicherheit sich vorhersehn lassen.

Was die Technik des Wasserbaus betrifft, so bin ich bemüht gewesen, die zahlreichen neuen Anordnungen und Ausführungen, die ich aus Schriften oder durch eigne Wahrnehmung kennen lernte, zu sammeln, zu sichten und die wichtigern derselben mitzutheilen, ohne den Umfang des Handbuchs zu weit auszudehnen.

Berlin, im Februar 1878.

G. Hagen.

Inhalts-Verzeichnifs
des ersten Bandes.

Abschnitt I.
Allgemeine Erscheinungen im Meere.

Abschnitt II.
Eindeichungen am Meere.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Erscheinungen im Meere.



§. 1.

Ueber Wellen im Allgemeinen.

Die Bauten am Meere haben denselben Zweck, wie die Strombauten. Man beabsichtigt durch sie theils die Ufer zu schützen und neues Vorland zu gewinnen, theils aber auch die Mündungen der Ströme, Flüsse und zuweilen sogar der Bäche offen zu erhalten, damit die Vorfluth des Binnenlandes nicht gestört wird. Vorzugsweise beziehn sie sich indessen auf die Sicherstellung und Erleichterung der Schiffahrt.

Einen wesentlichen Unterschied gegen die Strombauten bedingt schon die letzte Rücksicht, insofern der gröfsere Tiefgang der Seeschiffe auch schwierigere Anlagen und Ausführungen fordert. Aufserdem aber treten im Meere noch gewisse Erscheinungen und manche Eigenthümlichkeiten ein, die ganz verschiedene Anordnungen und Constructionen fordern. Zu diesen gehört vorzugsweise der Wellenschlag, dessen zerstörenden Wirkungen man durch die äufsersten Mittel der Kunst kaum zu begegnen im Stande ist, ferner der Wasserwechsel der Fluth und Ebbe, der nicht nur auf die Schiffahrt, sondern auch auf die Ufer und namentlich auf die Deiche von wesentlichem Einfluss ist. Sodann kommen die Strömungen in Betracht, die theils von der Fluth und theils von andern Ursachen herrühren. Sie wirken gleichfalls wieder meist zerstörend, während sie in mancher Beziehung schon an sich von Nutzen sind und oft die Schiffahrt erleichtern.

Eine Rücksicht, die beim Strombau mit der grössten Aufmerksamkeit stets beachtet werden muss, nämlich die Erhaltung der nöthigen Profilweite, sowol für das kleine, als auch für das hohe Wasser, fällt bei den Bauten am Meere fort, indem die Profile hier übermäfsig grofs und vergleichungsweise zu dem Bedürf-

niss sogar unbegrenzt sind. Ferner kommt die Beschaffenheit des Wassers in Betracht. Wegen des starken Salzgehaltes gedeiht am Meeresufer kein Strauch, sondern nur gewisse Gräser und Kräuter, während vielfach an Stellen, die dem Wellenschlag weniger ausgesetzt sind, also vorzugsweise in den Buchten, andre Pflanzen den Boden schon überziehn, wenn die Fluth auch noch mehrere Fuss hoch über denselben tritt. Die Erhaltung und weitere Ausdehnung dieser Vegetation, verbunden mit manchen Anlagen zur Beförderung des Niederschlages der erdigen Theilchen, die das Seewasser unter gewissen Umständen mit sich führt, bildet gleichfalls einen wichtigen Theil des Seebaues.

Die erwähnten Erscheinungen und Eigenthümlichkeiten finden ihre Grenze nicht an den Stellen, wo die Ströme sich in das offene Meer ergiefsen, vielmehr zeigen sie sich oft, wenn auch nur in geringerem Maafse, noch viele Meilen weit stromaufwärts. Sie werden nach und nach immer unmerklicher, bis sie endlich an gewissen Stellen ganz verschwinden. Diese Stellen sind aber nicht constant. Eine höhere Fluth dringt im Strom weiter aufwärts, als eine schwächere, und das salzige Wasser des Meeres wird bei starker Entwässerung aus dem Binnenlande weiter herabgedrängt. Deshalb schliefst der eigentliche Seebau auch nicht an bestimmter Stelle ab, sondern geht vielmehr allmählig in den Strombau über. Man nimmt gewöhnlich an, die Grenze zwischen beiden befinde sich da, wo die Rückströmung der Fluth aufhört.

Die Wirkungen der benannten Erscheinungen sind im Allgemeinen zerstörend. Am offenen Meere, also mit Ausschlufs der Buchten und derjenigen Wasserflächen, die durch davorliegende Untiefen und Inselreihen geschützt sind, befinden sich die Ufer fast überall im Abbruch. Ein felsiges Ufer, und namentlich wenn es aus fester Gebirgsart besteht, erhält sich freilich lange Zeit hindurch, ohne ein Zurückweichen bemerken zu lassen, aber dafs die mechanischen und wahrscheinlich auch die chemischen Kräfte des Meerwassers darauf einwirken, ergiebt sich deutlich, wenn man solches Ufer näher betrachtet. Alle vorragenden Theile, die am stärksten angegriffen werden, verschwinden, und die Oberfläche des harten Gesteins nimmt eine auffallende Glätte an. Ist das Gestein dagegen weich, also etwa Kreide, so lösen sich von Zeit zu Zeit grosse Massen und stürzen herab. Diese werden von den

Wellen hin und hergetrieben, und bald so fein zertheilt, dass sie im Wasser schweben. In diesem Zustande entfernen sie sich weit vom Ufer und versinken in die Tiefe, von wo sie nie wieder zum Vorschein kommen. Dasselbe geschieht mit dem Thon. Nur der Sand und Kies, obwohl er bei der immer wiederholten Bewegung sich abschleift, und dadurch jedes Körnchen mit der Zeit sich verkleinert, bleibt in der Nähe des Ufers. Wellen und Strömungen treiben ihn am Ufer fort, und wenn er auch von den rücklaufenden Wellen bis zu gewissen Tiefen herabgezogen wird, so schwebt er doch nicht in ruhigem Wasser, sinkt daher zu Boden, sobald die Wellenbewegung schwächer wird, oder ganz aufhört, und bleibt dauernd der Einwirkung der Wellen ausgesetzt und kann bei heftigem Seegange aufs Neue gehoben und auf das Ufer geworfen werden. Als ich einst zur Zeit der Springfluth auf der Nordseite der Insel Wangeroog dem ebbenden Wasser nachging, bemerkte ich, dass nahe über dem Horizont des niedrigsten Wassers plötzlich die Ablagerung des Sandes aufhörte, und der Thonboden, also das frühere Land, ganz frei lag. Bis zu dieser Tiefe war der Sand nicht herabgefallen. Ohnerachtet dieser begrenzten Beweglichkeit des Sandes sind dennoch höhere Ufer, die daraus bestehn, mehr als andre der schnellen Zerstörung durch Wellenschlag ausgesetzt.

In Meeresbuchten oder im Schutz davorliegender Inseln sind die Verhältnisse anders. Das durch die Strömung herbeigeführte Material sammelt sich oft vor den Ufern an, und diese treten, wenn man die Verlandung künstlich unterstützt, sogar nach und nach weiter vor. Beispiele hiervon findet man mehrfach an der Deutschen und Niederländischen Küste der Nordsee. Selbst vor den Mündungen grosser Ströme, wenn dieselben reichlich erdiges Material herabführen, lagert sich dieses zuweilen daneben ab, doch geschieht es wohl nur, wenn heftiger Wellenschlag daselbst nicht häufig eintritt, und namentlich dürfen auch starke Küstenströmungen, durch Fluth und Ebbe veranlasst, nicht stattfinden. Dieses geschieht an der Mündung der Rhone, und namentlich an der des Missisippi, woselbst sogar Thon und vegetabilische Erde die stets fortschreitende Verlandung bilden.

Die erwähnten grofsartigen Erscheinungen der Wellenbewegung sind für die Schiffahrt und für den Hafenbau von der

äufsersten Bedeutung. Sie sind vorzugsweise zu berücksichtigen, wenn man die Hafenmündung und das von der tiefen See aus dahin führende Fahrwasser offen erhalten und dasselbe zugleich für die einlaufenden Schiffe bequem einrichten will. Aufserdem dürfen sie aber auch bei der innern Einrichtung der Häfen und bei der Darstellung der Wasserverbindungen mit dem Binnenlande nicht unbeachtet bleiben. Indem ihr Einfluss in allen Theilen des Seebaues sich als überwiegend herausstellt, so ist es nothwendig, mit einer ausführlichen Erörterung dieser Erscheinungen zu beginnen. Dieses wird um so mehr sich rechtfertigen, als die Schriften über See- und Hafenbau hierüber meist nur vereinzelte Thatsachen enthalten, die den innern Zusammenhang der verschiedenartigen Wirkungen nicht klar erkennen lassen, und sonach den Wasserbaumeister nicht in den Stand setzen, in jedem besondern Fall die Mittel passend zu wählen, und sich ein sicheres Urtheil darüber zu bilden, was nach den localen Verhältnissen überhaupt zu erreichen ist. Die vielfachen Mifsgriffe, die in dieser Beziehung vorgekommen sind, werden es rechtfertigen, dafs die Aufmerksamkeit des Baumeisters hierauf gelenkt und derselbe veranlafst wird, durch sorgfältige Beobachtung und Zusammenstellung der Thatsachen manche Zweifel in Bezug auf die Wirkung der Wellen nach und nach zu beseitigen.

Ich gehe zunächst zur Untersuchung der Wellen über. Die Erscheinung ist im Allgemeinen bekannt. Schon auf kleinern Wasserflächen, auf Binnenseen, Weihern und Canälen bemerkt man, wie bei stärkerm Winde langgezogene Erhebungen des Wassers in gewissen, nahe gleichen Abständen sich bilden, nnd in der Richtung des Windes fortlaufen, während diese erhöhten Kämme oder Rücken, sowie auch die zwischenliegenden Thäler eine Richtung haben, welche die des Windes unter rechtem Winkel schneidet. Im Meere und besonders in grofsen Meeren, wie im Atlantischen und Stillen Ocean bildet sich die Erscheinung zur Zeit eines Sturms viel grofsartiger aus, die Kämme der Wellen erheben sich bis 30 Fufs und nach einzelnen Beobachtungen sogar noch höher über die zwischenliegenden Einsenkungen, und bewegen sich mit Geschwindigkeiten bis zu 6 und 7 deutschen Meilen in der Stunde, also ungefähr eben so schnell, wie Personenzüge auf Eisenbahnen. Wer zum ersten Mal auf einer Seereise diese anstürmenden Wasser-

berge sieht, kann sich der Besorgnifs nicht erwehren, dafs sie beim Zusammenstofs mit dem Schiff dasselbe zertrümmern müssen, und gewifs würde dieses geschehn, wenn die Wassermasse selbst die Geschwindigkeit der Wellen besäfse. Bei Wellen, die auf den Strand auflaufen, ist dieses in der That der Fall, und ein Schiff, welches hier auf dem Grunde steht, wird auch, wenn die Wellen nicht vorher schon wesentlich geschwächt waren, meist in kurzer Zeit zerschellt. Das Schiff dagegen, das auf tiefem Wasser schwimmt, empfängt von der anlaufenden Welle nur einen sehr mässigen Stoss, und in einem Boote empfindet man selbst diesen nicht. Die Wassermasse hat daher nicht die Geschwindigkeit, mit der die Welle sich bewegt. Dieses ergiebt sich auch schon daraus, dass man vor dem Ufer, gegen welches die Wellen anlaufen, den Wasserspiegel keineswegs in dem Maafse ansteigen sieht, wie es steigen müfste, wenn jede Welle wirklich die ihrer Grösse entsprechende Wassermasse hinzuführte.

Ein andrer Umstand verdient gleichfalls Beachtung. Wenn im offnen Meere ein starker Wellenschlag erregt ist, so dauert derselbe nach dem Aufhören des Sturmes noch lange, und im Ocean bis 24 Stunden fort. Hieraus ergiebt sich, dafs bei der Wellenbewegung in tiefem Wasser die lebendige Kraft nur in geringem Maafse zerstört wird, dass also die Reibung nicht bedeutend sein kann. Die Bewegung mufs also in der Art erfolgen, dass die sich berührenden einzelnen Wassertheilchen sich nur wenig gegen einander verschieben und dauernd in Berührung bleiben.

Bei aufmerksamer Betrachtung der Erscheinung auf kleinern Wasserflächen kann man schon erkennen, welche Bewegungen dabei wirklich eintreten. Die Theilchen, welche die Oberfläche bilden, heben und senken sich beim Vorübergange jeder Welle. Kleine darauf schwimmende Körper, wie etwa Holzstückchen und selbst Schaummassen, die jedoch nur wenig vortreten dürfen, um der unmittelbaren Einwirkung des Windes nicht zu stark ausgesetzt zu sein, sieht man keineswegs mit der Geschwindigkeit der Wellen forttreiben, vielmehr bleiben sie nahe an derselben Stelle, wo sie ursprünglich waren, oder sie bewegen sich doch nur sehr langsam in der Richtung des Windes fort. Dagegen bemerkt man allerdings, dafs sie in dieser Richtung gewisse und zwar abwechselnd

entgegengesetzte Bewegungen annehmen. Sobald das Holzstückchen vom Scheitel einer Welle getroffen wird, so folgt es ihrer Richtung, sobald es sich aber im Thale zwischen zwei Wellen befindet, so schwimmt es wieder zurück. Die Wassertheilchen mit den darin schwebenden fremdartigen Körpern bewegen sich also, wenigstens an der Oberfläche des Wassers, beim Vorübergange jeder Welle abwechselnd auf und ab, und zugleich hin und her, und kommen wieder an ihre frühere Stelle zurück. Hieraus folgt, dafs sie gewisse geschlossene Bahnen durchlaufen, und zwar ist in den obern Scheiteln derselben ihre Richtung mit der der Wellen übereinstimmend, in den untern aber entgegengesetzt.

Viel deutlicher ergiebt sich dieses, und nicht nur für die in der Oberfläche befindlichen, sondern auch für die weiter abwärts belegenen Wasserschichten, wenn man von einem grössern, vor Anker liegenden Schiffe aus, das von einem mäfsigen Wellenschlage wenig bewegt wird, einen leicht erkennbaren Körper herabwirft, dessen specifisches Gewicht etwas grösser, als das des Meerwassers ist, der also langsam in die Tiefe sinkt. Hierzu eignet sich schon ein leinenes Tuch oder ein Bogen Papier, den man durch Rollen zwischen den Händen in einen kugelförmigen Ballen umgeformt, und ihn vorher in Wasser getaucht und so vollständig getränkt hat, dafs er ganz durchnäfst ist, und keine Luft sich darin befindet. Wirft man denselben herab, so taucht er sogleich vollständig unter, und indem er nunmehr sich ausbreitet, so versinkt er langsam. Bei klarem Wasser kann man ihn alsdann mehrere Minuten hindurch verfolgen und seine horizontalen Bewegungen deutlich wahrnehmen. Man bemerkt aber, dafs jedesmal, so oft der obere Scheitel einer Welle darüber geht, er der Bewegung desselben folgt, und später wieder zurücktreibt. Dieselbe Bewegung, welche die Wassertheilchen der Oberfläche haben, erfolgt daher, wenn auch in geringerer Ausdehnung, gleichzeitig in den darunter befindlichen Schichten.

Um Mifsverständnissen zu begegnen, mufs darauf aufmerksam gemacht werden, dafs diese rotirende Bewegung nicht etwa grössere Wassermassen umfafst, die sich um eine gemeinschaftliche Achse drehn. In solchem Fall würden sehr scharfe Uebergänge unvermeidlich sein, deren Folge wieder eine starke Reibung wäre.

In der Vertikal-Ebne, in der diese Bewegungen erfolgen, schwingt vielmehr jedes einzelne Wassertheilchen um eine besondre Achse, und wenn man vorläufig annimmt, dafs die Bahnen Kreise sind, so giebt die sogenannte Wellenmaschine, die in physikalischen Cabineten häufig gefunden wird, ein richtiges und anschauliches Bild von den Bewegungen der Wassertheilchen in der Oberfläche oder in einer darunter liegenden horizontalen Schicht.

Bei dieser Maschine sind nach Fig. 1 in gleicher Höhe eine Anzahl Rollen a, a, angebracht, die durch einen umgeschlungenen Faden sämmtlich in übereinstimmende rotirende Bewegung versetzt werden, so dafs sie alle in gleicher Zeit ihre Umdrehungen vollenden. An dem Rande einer jeden dieser Rollen ist ein Stäbchen befestigt, dessen äufseres Ende durch einen Knopf c besonders markirt ist. Diese Stäbchen oder Radien haben gleiche Länge, so dafs der Abstand ac bei allen gleich grofs ist. Die Rollen werden nun gegen einander so verstellt, dafs die Neigung des Stabes gegen den Horizont bei jeder folgenden um einen gewissen Winkel (in der Figur um 30 Grad) gröfser wird. Die Knöpfe bilden alsdann schon im Stande der Ruhe eine gestreckte Cycloïde, und diese Form erhält sich auch unverändert während der gleichmäfsigen Drehung aller Rollen, aber der Scheitel der Cycloïde bleibt nicht an der Stelle, wo er anfangs war, sondern bewegt sich, während ein Stäbchen nach dem andern die vertikale Stellung annimmt, in derselben Richtung, in der die Drehung erfolgt, und nach einer vollständigen Umdrehung der Achsen hat der Scheitel der Welle die Länge derselben durchlaufen. Die Knöpfe c, wenn sie den obern Scheitel bilden, bewegen sich in derselben Richtung, in der die Welle fortschreitet, wie dieses bei Wasserwellen jedesmal geschieht, und dieses erfolgt bei der gewählten Stellung der Stäbe, mag die Drehung in der einen, oder der andern Richtung statt finden.

Denkt man nun in geringer Entfernung unter diesen Rollen eine zweite Reihe derselben von gleicher Grösse, von demselben Faden umschlungen, und die Stäbchen eben so gerichtet, wie die darüber befindlichen, letztere jedoch von etwas geringerer Länge, so überzeugt man sich leicht, dafs dieselben Knöpfe sowohl zur Seite, als auch abwärts immer denselben Knöpfen benachbart bleiben. Wenn also die Entfernungen der Achsen in jeder Reihe,

so wie auch die Entfernungen der Reihen von einander unendlich klein gedacht werden, so ergiebt sich, dass die einzelnen Wassertheilchen, die sich ursprünglich berührten, auch während der übereinstimmenden Drehung aller Achsen fortwährend mit einander in Berührung bleiben und kein fremdes Theilchen dazwischen treten kann.

Es giebt noch eine andre bekannte Erscheinung, welche eine überraschende Aehnlichkeit mit dem Wellenschlage der See zeigt, und die auch in gewisser Beziehung mit diesem übereinstimmt. Ein Getreidefeld, in welchem die Aehren sich bereits so weit ausgebildet haben, dafs sie bedeutend schwer geworden sind, während die Halme die nöthige Biegsamkeit und Elasticität noch besitzen, schlägt im Winde Wellen, wie das Wasser. Die Kämme oder Rücken der Wellen sind normal gegen die Richtung des Windes gekehrt, ihre Bewegung stimmt aber mit der letztern überein. Es wiederholen sich daher hier sehr vollständig die Eigenthümlichkeiten der Wasserwellen, und augenscheinlich bleibt in diesem Fall jeder Halm mit seiner Aehre unverändert an seiner ursprünglichen Stelle. Die Erscheinung giebt sich hier in allen Einzelheiten leicht zu erkennen. Der Halm schwankt hin und her, und indem er sich neigt, so senkt sich die Aehre, die sogar durch die starke Krümmung des oberen Endes des Halmes besonders tief herabsinkt. Der Schwerpunkt der Aehre durchläuft also hin und her einen gewissen Bogen. Die Pflanzen stehn indessen so nahe neben einander, dafs nicht eine einzelne unabhängig von den benachbarten sich bewegen kann, vielmehr müssen diese Bewegungen übereinstimmen, und so geschieht es, dass jede folgende Aehre (in der Richtung des Windes gezählt) jeden Punkt in ihrer Bahn etwas später einnimmt, als die vorhergehende den entsprechenden in der ihrigen.

Diese Wellen eines Getreidefeldes führen noch zu einer andern Anschauungsart der Wellenbewegung. Man betrachte die einzelnen Wassertheilchen, die vor dem Eintritt der Bewegung sich lothrecht über einander befinden. Dieselben bilden einen Wasserfaden, der ursprünglich lothrecht steht. Beim Wellenschlage mufs derselbe jedenfalls gewisse Bewegungen machen, und sein oberes Ende mufs sich abwechselnd erheben und senken. Dieses geschieht, wenn der Faden ähnlich dem Halme sich neigt und

wieder lothrecht stellt, und dieser Fall entspricht der schon oben gemachten Annahme, daſs die Bahnen, welche die einzelnen Wassertheilchen der Oberfläche durchlaufen, die gröſsten Dimensionen haben, und weiter abwärts immer kleiner werden, bis sie endlich sich in Punkte verwandeln, wobei also die Bewegung aufhört. Die Wellen können aber auch dadurch entstehn, daſs diese Fäden, ohne ihre lothrechte Stellung aufzugeben, hin und hergeschoben und dabei abwechselnd zusammengedrängt und wieder von einander entfernt werden, wobei sie sich verlängern und verkürzen müssen. Endlich ist noch der dritte Fall denkbar, daſs nämlich beide Arten der Bewegung sich mit einander verbinden, der Fuſs des Fadens also hin und hergeschoben und zugleich der Faden vor und zurück geneigt wird. Aus dem Folgenden wird sich ergeben, daſs alle drei Bewegungs-Arten wirklich vorkommen, und daſs vorzugsweise die Wassertiefe entscheidet, welche von ihnen eintreten muſs.

Diese Betrachtung der Wasserfäden erklärt leicht eine sehr interessante und für den Hafenbau wichtige Erscheinung. Wenn nämlich die dem Wellenschlage ausgesetzte Wassermasse durch eine senkrechte Wand begrenzt wird, gegen welche die Wellen in normaler Richtung anlaufen, so werden die der Wand am nächsten stehenden Wasserfäden, welche den Impuls zu ihrer Bewegung von den vorhergehenden, noch frei ausschwingenden Fäden erhalten, sich weder verschieben noch neigen können. Die Pressung, die sie erfahren, kann sich also nur in der Längenausdehnung äuſsern. Dieses geschieht wirklich, und zwar wird die Höhe der Welle neben einer solchen Wand gröſser, als sie im freien Wasser war. Die starke Erhebung des Wasserspiegels, verbunden mit dem Aufhören der fortschreitenden Bewegung ist aber Veranlassung zum Entstehn einer neuen Welle, oder bei fortgesetztem Anlaufen von Wellen zur Bildung eines neuen Wellensystems. Die Bewegung desselben kann aber, da jeder Wellenrücken in seiner ganzen Ausdehnung sich vor der Wand gleichzeitig erhebt, nur rückwärts und zwar wieder normal gegen die Wand erfolgen. Auch dieses geschieht wirklich. Läſst man eine Welle nach der andern normal gegen eine senkrechte Wand schlagen, so läuft jede einzelne dieser Wellen wieder in entgegengesetzter Richtung zurück, und zwar mit gleicher Geschwindigkeit und nahe in derselben Höhe,

in der sie angekommen war. Dasselbe geschieht auch, wenn die Wand nicht lothrecht steht, sondern gegen das Loth mässig geneigt ist, doch tritt in diesem Fall eine erhebliche Schwächung der Wellen ein.

Wenn nun diese beiden Wellensysteme, die in direct entgegengesetzten Richtungen sich bewegen, gleichzeitig in einem gröfsern oder kleinern Wasserbassin vorkommen, so kann man sehr deutlich beide Arten von Wellen unterscheiden, die sich keineswegs gegenseitig zerstören, vielmehr ganz unabhängig von einander ihre verschiedenen Wege verfolgen. Der einzelne Wasserfaden wird in diesem Fall von beiden Seiten durch die nächststehenden afficirt, und die Schwingung, die er macht, ist die Componente aus den beiden Bewegungen, zu denen der Druck des einen und des andern benachbarten Fadens ihn veranlafst. Sind beide Pressungen gleich grofs und positiv, was in dem Punkte geschieht, wo die obern Scheitel der beiderseitigen Wellen zusammentreffen, so macht der Faden gar keine Seitenbewegung, er verlängert sich nur, oder die Oberfläche erhebt sich, und zwar höher, als bei der einzelnen Welle, weil der beiderseitige Druck die Seitenbewegung vollständig unterbricht. Das Umgekehrte geschieht, wenn die untern Scheitel oder die tiefsten Stellen zweier Wellen zusammentreffen. Die beiderseitigen Pressungen sind alsdann negativ und die Senkung wird tiefer, als bei der einzelnen Welle. An allen zwischenliegenden Stellen wird die Bewegung der Fäden nicht unterbrochen, und da diese gleichzeitig von beiden Systemen afficirt werden, so erfolgt ihre Bewegung in der Art, dafs sie beiden Systemen sich anschliefst. Die in beiden Richtungen laufenden Wellen durchdringen sich also, ohne sich gegenseitig zu zerstören, oder auch nur zu schwächen.

Ist die senkrechte Wand, gegen welche die Wellen anlaufen, nicht normal, sondern schräge gegen die Richtung der Bewegung der letztern gekehrt, so trifft die Pressung der nächst stehenden Wasserfäden gleichfalls schräge auf die Wand. Der Theil des Drucks, der parallel zur Wand gerichtet ist, wirkt in gleicher Weise fort, als wenn die Wand nicht vorhanden wäre, der darauf senkrecht treffende Theil dagegen bewirkt wieder das Zurücklaufen der Welle. Die Welle wird also, wie ein elastischer Körper, unter demselben Winkel, den die Richtung ihrer Bewegung

mit der Wand macht, von der letztern zurückgeworfen. Diese Uebereinstimmung in dem Verhalten der Wellen und elastischer Körper kann nicht befremden, insofern in beiden Erscheinungen die mechanischen Verhältnisse dieselben sind. Legt man elastische Kugeln von gleicher Gröſse in einer Reihe hintereinander, so daſs sie sich unmittelbar berühren, und die Berührungspunkte sich in einer geraden Linie befinden, so überträgt sich der auf die erste ausgeübte Stoſs auf alle bis zur letzten. Sobald irgend eine dieser Kugeln den Stoſs empfängt, so wird sie zusammengedrückt, da sie wegen ihrer geschlossenen Lage nicht ausweichen kann. Diese Formveränderung, der die Elasticität entgegenwirkt, giebt aber Veranlassung, daſs sie auf die nächstfolgende Kugel in gleicher Weise einwirkt, wie sie von der vorhergehenden afficirt wurde. Dasselbe geschieht in einer Reihe von Wasserfäden, die in gerader Linie hinter einander stehn und nicht seitwärts ausweichen können. Da das Wasser jedoch nur überaus wenig comprimirbar ist, so kann der auf einen Faden ausgeübte Druck keinen andern Erfolg haben, als daſs dieser Faden, so wie später jeder folgende, dadurch ausweicht, daſs er sich verlängert oder sein oberes Ende sich hebt. Diese Erhebung ist aber wieder Veranlassung, daſs er auf den folgenden in gleicher Weise drückt, wie er gedrückt wird.

Das Fortschreiten des Drucks giebt sich also durch das Fortschreiten der Welle zu erkennen. Lehnt sich die letzte elastische Kugel gegen eine Wand, die unter einem rechten Winkel die Richtung des Drucks trifft, so läuft der Druck, sobald er sich bis hierher fortgepflanzt hat, wieder durch alle Kugeln zurück, und die erste wird fortgestoſsen. Ist dagegen die Wand schräge gegen die Reihe elastischer Körper gerichtet, die man in diesem Fall freilich als unendlich klein denken muss, so wird der Druck oder Stoſs ebenso, wie von einer einzelnen dagegen laufenden Kugel, unter gleichem Winkel sich rückwärts fortsetzen. Dasselbe geschieht bei den Wasserfäden, und die Uebereinstimmung beider Erscheinungen wird am auffälligsten, wenn man solche Wasserfäden voraussetzt, die sich nicht neigen, sondern unter Beibehaltung ihrer vertikalen Stellung nur hin und herschieben.

Daſs die Wellen in dieser Weise wirklich zurückgeworfen werden, oder wie elastische Körper oder Lichtstrahlen reflectiren,

ergiebt sich aus manchen Erscheinungen im Grofsen. So sieht man namentlich im Innern der Häfen, wo die Einwirkung des Windes und der Strömung aufhört, dafs die einlaufenden Wellen vor Kaimauern oder Bohlwerken reflectirt werden. Die Kämme der ursprünglichen Wellen, wie die der rücklaufenden, sind deutlich zu erkennen, und beide sind gegen die Wandfläche gleichmässig geneigt. An einzelnen Stellen vereinigen sich aber die letztern so sehr, dafs daselbst die Wellen sich besonders hoch erheben, und die hier liegenden Schiffe gefährden. Wenn man in solchem Fall die Form des Hafens näher untersucht, so ergiebt sich, dafs von verschiedenen Ufereinfassungen die Wellen gerade hierher zurückgeworfen werden und daher die übermäfsige Bewegung veranlassen. Durch Versuche im Kleinen ist bei Anwendung von Wasser diese Erscheinung nicht in auffallender Weise darzustellen, wohl aber zeigt sie sich mit voller Deutlichkeit, wenn man, wie die Gebrüder Weber *) versuchten, statt des Wassers, Quecksilber anwendet. In dem einen Brennpunkt eines mit Quecksilber gefüllten elliptischen Gefäfses fielen in kurzen Zwischenzeiten einzelne Quecksilber-Tropfen herab, und diese erregten nicht nur die kreisförmigen Wellen, die man unter ähnlichen Umständen auch im Wasser deutlich bemerkt, sondern die vom Rande des Gefäfses zurücklaufenden Wellen bildeten auch concentrische Kreise um den zweiten Brennpunkt, und vereinigten sich in demselben, indem sich hier die Oberfläche sehr merklich erhob und senkte.

Die Erregung der Wellen erfolgt durch jede plötzliche Störung des Gleichgewichts einer ruhenden Wassermasse. Wenn ein Stein in einen Weiher geworfen wird, oder ein Tropfen in eine mit Wasser gefüllte Schale fällt, so bilden sich nach allen Richtungen Wellen, oder es entstehn concentrische kreisförmige Wellen, die sich vergröfsern und immer weiter ausdehnen, bis sie endlich bei ihrer allmähligen Abschwächung sich so erniedrigen, dafs man sie nicht weiter erkennen kann. Dieselbe Erscheinung tritt aber auch ein, wenn man einen vorher ins Wasser eingetauchten Körper plötzlich herauszieht. Dabei pflegen freilich einige Wassertropfen herabzufallen, und es bleibt alsdann zweifelhaft, ob

*) Die Wellenlehre auf Experimente gegründet, von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipzig 1823. §. 171.

die kreisförmigen Wellen, die man wieder von der Stelle ab, wo der Körper versenkt war, nach dem Rande des Gefäſses laufen sieht, vielleicht von diesen Tropfen herrühren. Der Zweifel wird indessen beseitigt, wenn man diesen Versuch mit einer Röhre anstellt, die solche Weite hat, daſs man die obere Oeffnung mit dem Daumen noch bequem schlieſsen kann. Schlieſst man diese zuerst und taucht alsdann die Röhre einige Zoll tief ein, so wird beim plötzlichen Aufheben des Daumens das Wasser in gleicher Weise eindringen, als wenn ein eingetauchter Körper plötzlich herausgezogen wäre. Man sieht aber in diesem Fall, daſs die kreisförmige Welle sich zuerst rings um die Röhre bildet und von hier nach dem Rande des Gefäſses läuft. Mittelst dieser Röhre läſst sich auch der erste Versuch, nämlich das plötzliche Eintauchen eines Körpers sehr bequem anstellen, wenn man die Röhre einige Zoll tief ins Wasser einsenkt, alsdann die obere Oeffnung schliesst und die Röhre soweit hebt, daſs ihr unterer Rand noch so eben unter der Oberfläche bleibt. Entfernt man alsdann den Daumen, so stürzt das Wasser aus der Röhre heraus, und die kreisförmige Welle läuft gleichfalls von der Röhre fort. Mag man den Versuch in der einen oder in der andern Art darstellen, so bleibt die Erscheinung dieselbe. Benutzt man ein kreisförmiges Gefäſs, und hält man die Röhre in dessen Mitte, so wird freilich die kreisförmige Welle, nachdem sie den Rand erreicht hat, wieder zurücklaufen, oder die kreisförmigen Wellen verkleinern sich und schlieſsen sich endlich an die Röhren an, aber die erste Bewegung erfolgt jedesmal von der Röhre aus nach dem Rande des Gefäſses, und nie in entgegengesetzter Richtung. Die Uebereinstimmung beider Erscheinungen erklärt sich ohne Zweifel dadurch, daſs beim plötzlichen Eintauchen die Erhebung oder der obere Scheitel der Welle gebildet wird, beim plötzlichen Herausziehn aber die Einsenkung oder der untere Scheitel. Es entsteht dabei aber niemals eine einzelne Welle, sondern stets mehrere, die einander folgen, und man sieht in beiden Fällen gleiche Wellensysteme, in denen man bei der Flüchtigkeit der Erscheinung keinen Unterschied bemerken kann, die aber unverkennbar in derselben Richtung sich bewegen.

Dieselbe Ursache veranlaſst ohne Zweifel zuweilen auch im Meere die Wellenbewegung. Wenn durch vulkanische Aus-

brüche oder durch Erdbeben das bisherige Gleichgewicht in den Wasserflächen plötzlich in grofsem Maafse gestört wird, so erheben sich Wellen, die in der Nachbarschaft Landflächen inundiren, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen weit über dem Spiegel der See liegen, und von keiner Fluth erreicht wurden. Bei dem Erdbeben, das am 1. November 1755 Lissabon zerstörte, rollte daselbst eine 40 Fufs hohe, und bei Cadix sogar eine 60 Fuss hohe Welle auf das Ufer. Chase, der sich damals in Lissabon aufhielt, erzählt in einem Briefe, dafs unmittelbar nach dieser Welle das Wasser sich soweit gesenkt habe, dafs die in dem sehr tiefen Tajo ankernden Schiffe grofsentheils auf dem trocknen Flufsbette standen, dafs aber dieser ersten Welle noch zwei andre von nahe derselben Höhe folgten. In den kleinen Antillen, wo der Fluthwechsel nur wenig über 2 Fufs mifst, erhob sich einst das Meer 20 Fufs hoch. Dieselbe Erscheinung ist bei Erdbeben auch in Callao de Lima und in Chili beobachtet worden. In dem ersten dieser Häfen sah Alexander von Humboldt bei voller Windstille plötzlich eine Reihe von 10 bis 14 Fufs hohen Wellen einlaufen, die nur durch submarine, Erdbeben veranlafst sein konnten.

Gewöhnlich werden die Meereswellen durch den Wind erregt. Wenn derselbe vollkommen gleichmäfsig auf die Oberfläche des Wassers wirkte, so wäre auch der Druck, den er verursacht, auf allen Theilen derselben gleich stark, und das Gleichgewicht könnte nicht gestört werden. Diese Bedingung wird aber niemals erfüllt, indem die Wirkung des Windes immer ungleichmässig ist und er nicht nur abwechselnd sich verstärkt und schwächt, sondern wegen der wirbelnden Bewegungen an verschiedenen und selbst an nahe belegenen Stellen in verschiedener Stärke und in andrer Richtung auftritt. Hierdurch wird jedesmal und zwar in kürzester Zeit ein ungleichmässiger Druck veranlafst und das Gleichgewicht der Oberfläche aufgehoben. Sobald dieses aber gestört ist, und die kleinsten Wellen sich gebildet haben, so verstärkt der Wind dieselben sehr schnell und theilt ihnen die Richtung der Bewegung mit, die er selbst hat. Man nehme an, die erste Störung des Gleichgewichts sei dadurch veranlafst, dafs eine Stelle der Oberfläche plötzlich stärker gedrückt wurde, als die umgebenden. Die Wirkung wird alsdann dieselbe sein, als wenn ein Körper auf jene Stelle herabfiele, und es werden schwache

kreisförmige Wellen sich bilden, die nach allen Richtungen sich verbreiten. Dieser gleichmäfsigen Verbreitung tritt aber die Wirkung des Windes entgegen. Diejenigen Theile der Kreiswellen, die gegen den Wind laufen, werden von ihm aufgehalten, er drückt in der vordern Böschung die Wassertheilchen zurück, die im Aufsteigen begriffen sind. Diejenigen Wellentheile, deren Bewegung normal gegen die des Windes gerichtet ist, werden von ihm nicht afficirt. Diejenigen dagegen, welche in derselben Richtung sich bewegen, die der Luftstrom hat, werden durch diesen verstärkt. Derselbe trifft, so lange seine Geschwindigkeit noch gröfser ist, als die der Welle, die hintere Dossirung. Er beschleunigt also ihre Bewegung theils unmittelbar und theils dadurch, dafs er die im Herabsinken schon begriffenen Wassertheilchen noch stärker herabdrückt, während die in der vordern Dossirung befindlichen Theilchen am Aufsteigen nicht gehindert werden, weil der Kamm der Welle sie überragt und sie vor der Einwirkung des Windes schützt. So geschieht es, dafs die vor dem Winde laufenden Theile der ursprünglich kreisförmigen Wellen sich vorzugsweise ausbilden und überwiegende Dimensionen annehmen. Sobald sie aber eine starke Bewegung haben, so reifsen die an ihren Enden befindlichen Wassertheilchen die nächst liegenden mit sich fort, und in dieser Art entstehn die lang gezogenen Wellen, deren Rücken bei heftigem Sturm und auf grofsen Meeren meilenweite Ausdehnung annehmen.

In voller Regelmäfsigkeit bilden sich die Wellen vielleicht niemals aus. Auf kleinen Gewässern, so wie auch in der Nähe der Ufer des Meeres und namentlich in Buchten, wo die Wellen einlaufen, zeigen sich diese Unregelmäfsigkeiten besonders auffallend. Wenn man sich auf einem hohen Ufer befindet, von dem aus man eine gröfsere Wasserfläche übersehn kann, so lassen sich die einzelnen Wellen, deren Kämme meist keine bedeutende Längenausdehnung haben, selten längere Zeit hindurch verfolgen. Nach einer Viertel-, oder nach einer halben Minute verschwinden sie plötzlich, während daneben andre auftauchen. In grofsen und tiefen Meeren, woselbst die Wellen sich viel vollständiger ausbilden, findet ein solcher Uebergang aus einem System in das andre seltener statt. Dagegen sind auch hier die Wellen in Betreff ihrer Höhe sehr verschieden, und niemals zeichnet sich eine

einzige Welle durch die gröfsere Höhe aus, sondern immer findet ein allmähliger Uebergang statt. Dieses erklärt sich wohl dadurch, dafs zwei oder noch mehr verschiedene Systeme von etwas abweichenden Perioden gleichzeitig bestehn, die zuweilen zusammenfallen und alsdann die besonders hohen Wellen erzeugen. In manchen Fällen thürmen sich die Wellen und zwar nur stellenweise zu einer überraschenden Höhe auf, so dafs grofse Wassermassen auf das Deck des Schiffs treten und alle Gegenstände fortspülen, die gröfsere Angriffsflächen bieten und mit dem eigentlichen Schiffskörper nicht auf das Innigste verbunden sind. Diese Wellen, die ohne Zweifel aus dem Zusammentreffen verschiedener, sich kreuzender Systeme entstehn, nennt man Sturzseen.

Unter den Seeleuten ist die Ansicht verbreitet, dafs während heftiger Stürme immer drei besonders hohe Wellen auf einander folgen, und dafs alsdann etwas schwächere Bewegung eintritt. Dieses würde sich schon durch Vorstehendes erklären, dazu kommt aber noch eine andre Einwirkung, die nicht allein von den Wellen herrührt. Die Höhe der Wellen beobachtet nämlich der Schiffer nicht unmittelbar, sondern er beurtheilt sie nach den Schwankungen des Schiffes, also nach dem Rollen und Stampfen desselben (ersteres in der Quer- letzteres in der Längenrichtung). Das Schiff macht aber, wenn das Gleichgewicht gewaltsam gestört wird, solche pendelartigen Bewegungen selbst in ruhigem Wasser und bei bewegter See treten sie sehr heftig auf. Ihre Periode, die von der Gröfse, Form und Belastung, wie auch von der Vertheilung der letztern abhängt, ist aber von derjenigen der Wellen verschieden, und so verstärken sich bald die Bewegungen und bald schwächen sie sich gegenseitig. Wenn daher die Wellen auch vollkommen gleich wären, würden die Schwankungen des Schiffs dennoch bald schwächer und bald stärker sein *).

Bei stark bewegter See und heftigem Winde bemerkt man sehr deutlich, dafs gleichzeitig eine grofse Anzahl von Wellensystemen in verschiedener Stärke und verschiedener Richtung auftritt. Als ich einst bei starkem Nordwinde von Dover nach

---

*) Sehr eingehend ist dieser Gegenstand behandelt von L. E. Bertin. „Données théoriques et expérimentales sur les vagues et le roulis.“ Paris. 1874.

Ostende fuhr und Foreland passirt war, folgten die gröfsten Wellen der Richtung des Windes und diese verursachten vorzugsweise das heftige Stampfen und Rollen des Dampfbootes. Neben diesem System zeigten sich aber auch mehrere andre, welche, wenn auch schwächer, doch ganz regelmäfsig sich ausgebildet hatten und ohne Störung das erste verschiedenartig kreuzten. Selbst an Wellen von sehr geringer Erhebung fehlte es nicht, welche die bewegte Wasserfläche netzartig überzogen, und unter diesen waren auch solche, welche der Richtung des Windes entgegenliefen. Eine viel grofsartigere Entwickelung der Wellen sah ich aber, als ich bei mäfsigem Südwestwinde auf dem Wege von Southampton nach Lissabon durch die Bai von Biscaya in gerader Richtung von der Insel Ushant (vor der nordwestlichen Ecke Frankreichs) nach dem Cap Finisterre fuhr. Der schwache Wind bildete ein System von Wellen, die nur etwa 3 Fufs hoch waren und dem Dampfschiffe gerade entgegen liefen. Ob diese Wellen bedeutende Ausdehnung hatten, liefs sich nicht erkennen, da ein andres System überwiegend war, welches aus Nordwest anlief und die ersten sehr nahe unter rechtem Winkel kreuzte. Dieses mufste auf der Höhe des Atlantischen Oceans seinen Ursprung haben, wo ein andrer und wahrscheinlich viel stärkerer Wind es erregt hatte. Von dem hohen Vorderdeck aus, welches freie Aussicht über das ganze Schiff bot, konnte ich die Kämme dieser Wellen sehr deutlich betrachten. Sie zogen sich in geraden Linien hin und so weit das Auge reichte, war keine Unterbrechung in ihnen zu bemerken. Die Zwischenzeiten, in welchen sie das Schiff trafen, zeigten merkliche Abweichungen, doch mochten diese davon herrühren, dafs bei dem starken Rollen des Schiffes einige Veränderung des Curses unvermeidlich war. Als ich auf dem vordern Theile des Quarterdecks, also nahe in der Mitte des Schiffes stand, sah ich, wenn wir uns gerade im untern Wellenscheitel befanden, die obern Wellenscheitel gewöhnlich in der Höhe des Horizonts. Die mittlere Wellenhöhe liefs sich hiernach leicht, und um so sicherer messen, als die Längenachse des Schiffs den Kämmen der Wellen parallel war, und sonach das Schiff in seiner ganzen Länge in das Thal trat. Es kam nur darauf an, die Messung in solchen Momenten vorzunehmen, wo das Schiff sich nicht merklich seitwärts überneigte, weil bei dem heftigen Rollen sonst die Höhe zu grofs

oder zu klein gefunden wäre. Es ergab sich hiernach die mittlere Höhe der Wellen 12½ Fufs Rheinländisch. Viele Wellen blieben aber niedriger und in Zwischenzeiten von wenigen Minuten traten immer einzelne höhere Wellen auf, die man schon in weiter Ferne bemerken konnte, und die sich, sobald sie das Schiff trafen, durch das viel stärkere Schwanken desselben zu erkennen gaben. Einzelne derselben waren 18 Fufs hoch. Dafs der Wellenschlag damals ungewöhnlich stark war, ergab sich aus der Bezeichnung im Logbuche: hoher Seegang (heavy swell).

Aufser den erwähnten beiden Wellensystemen bemerkte man zunächst die im Buge des Dampfbootes erregten Wellen, welche zu beiden Seiten des Schiffes sichtbar waren, und deren Kämme gegen das Kielwasser Winkel von 35 Graden bildeten. Drei dieser Wellen waren hinter einander deutlich zu erkennen und sie liefen über die andern fort, bis sie etwa in der Entfernung von 100 Ruthen verschwanden. Endlich traten noch sehr verschiedene kleinere Systeme auf, die man an den sich kreuzenden Furchen der Wasserfläche wahrnehmen konnte.

Die vorstehenden Mittheilungen beziehn sich allein auf die Erscheinungen im tiefen Wasser. Wo sich der Boden erhebt und besonders wo er steil aufsteigt, wenn er auch noch weit unter der Oberfläche bleibt, werden die Schwingungen der Wasserfäden theilweise plötzlich unterbrochen, und die ihnen mitgetheilte lebendige Kraft kann sich nur in einer gröfseren Erhebung des Wassers äufsern. Es bilden sich alsdann die sogenannten Grundwellen, die wegen ihrer unregelmäfsigen und stofsenden Bewegung besonders gefürchtet werden. Zu denselben gehören vielleicht auch die sogenannten Roller, die am Cap Horn sich oft zeigen und nichts Andres sein sollen, als sehr hohe fortschreitende Wellen, die also das Schiff, welches sie treffen, plötzlich mit der ganzen Geschwindigkeit fortstofsen, die sie selbst haben. Ihre Entstehung lässt sich kaum in andrer Weise erklären, wenn man nicht etwa terrestrische Erschütterungen voraussetzen wollte, die allerdings auch zuweilen wirksam sein mögen. Die Benennungen Grundwellen und Sturzseen, von denen oben die Rede war, scheinen indessen oft verwechselt zu werden, und Thomas Stevenson bringt, indem er hiervon spricht, damit auch noch die

in die Strommündungen eintretenden Fluthwellen in Verbindung, die später näher beschrieben werden sollen.

Wenn die Untiefen höher ansteigen, so können die Wellen sich nicht mehr als zusammenhängende Wassermassen ausbilden. Ihre obern Schichten empfangen noch den vollen Stofs, dem die horizontale Bewegung der im Scheitel befindlichen Theilchen entspricht, die darunter liegenden werden aber durch den ansteigenden Boden aufgehalten, sie können also nicht schnell genug folgen, und der Scheitel, dem alsdann die Unterstützung fehlt, neigt sich vorn über, bis er ganz unabhängig von der frühern rotirenden Bewegung der einzelnen Wassertheilchen, allein den Gesetzen der Schwere folgt und mit lautem Getöse hinabstürzt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen der Brandung bekannt. Sie zeichnet sich vor allen übrigen Wellen dadurch aus, dafs sowol wegen der Luft, die von dem überschlagenden Kamme eingeschlossen wird, als durch das freie Herabfallen der Wassermasse eine starke Schaumbildung stattfindet. Das glänzende Weifs der Brandung ist selbst in der Dunkelheit schon in weiter Ferne bemerkbar, während das in kurzen Zwischenzeiten wiederholte oft donnerähnliche Getöse den Schiffer gleichfalls vor der Gefahr warnt. Wo die Welle heftig brandet, ist die Wassertiefe meist so geringe, dafs das Schiff nicht mehr schwimmen kann, es läuft also Gefahr zu stranden, und von den ungeschwächt anlaufenden Wellen in kürzester Frist zerschlagen zu werden. Wenn aber auch die Tiefe hinreichend grofs ist, so dafs das Schiff, ohne den Grund zu berühren, darüber gehn kann, so hebt und senkt es sich hier viel mehr, als in der offenen See, und besonders sinkt es tiefer hinab, insofern die schäumende Wassermasse ein geringeres specifisches Gewicht hat und daher weniger trägt. Wenn demnach auf der Barre vor der Mündung eines Stroms unter gewöhnlichen Verhältnissen auch überflüssige Wassertiefe ist, so wird es doch bedenklich, bei starkem Wellenschlage sie zu überfahren, weil hier das Schiff tief durchschlägt. Auch die veränderte Bewegung der einzelnen Wassertheilchen vermehrt die Gefahr. Während das Wasser im offenen Meere, so wie auch vor einer steilen Felswand nur hin- und herschwankt, ohne entschieden der Richtung des Sturms zu folgen, so nimmt in der Brandung die ganze Masse diese Bewegung an und es bildet sich beim Aufschlagen jeder

Welle eine heftige, dem Ufer zugekehrte Strömung. Dieselbe erschwert zugleich wesentlich die Steurung und vergröfsert dadurch aufs Neue die Gefahr.

Wenn das Meeresufer nicht steil aus grofser Tiefe bis über den Scheitel der Wellen emporsteigt, so bildet sich beim Sturm vor demselben jedesmal eine starke Brandung. Ist das Ufer flach und sandig, so zeigt sich auf demselben ein sehr regelmäfsiges, wenig geneigtes Banket, das einige Fufs hoch über dem gewöhnlichen Meeresspiegel liegt. Dieses ist der sogenannte Strand, und er verdankt seine Entstehung den beim Sturm darüberstürzenden Wellen. Die gelösten Wassermassen strömen von der See aus darüber hin, bis sie in Folge des ansteigenden Bodens und durch die starke Reibung gegen denselben ihre Geschwindigkeit verloren haben und nun auf der sanft geneigten Fläche wieder rückwärts fliefsen. An der Stelle, wo diese rücklaufenden Wellen den vom Meere aus ankommenden begegnen, bildet sich in der Dossirung ein sehr merklicher und seewärts steil abfallender Absatz. Doch das rückfliefsende Wasser kann in seiner Bewegung hier nicht vollständig gehemmt werden, weil sonst der Wasserspiegel vor dem Ufer sich immer mehr erhöhen müfste. Es fliefst also, nachdem es plötzlich aufgehalten war, bald wieder unter dem nach dem Lande gekehrten Strom der neuen Welle dem Meere zu, und wo es der nächsten Welle begegnet, tritt wieder ein Stillstand ein und Sand und Kies lagern sich hier ab. So bilden sich vor dem Ufer mehrere Rücken parallel zum Strande. Man nennt diese an der Ostsee Riffe. Die entgegengesetzten Strömungen kann man schon bei mäfsigem Wellenschlage bemerken. Wirft man einen specifisch leichten Körper, also ein Stückchen Holz auf das Wasser, so schwimmt dieses nach dem Ufer, läfst man aber ein bereits durchnäfstes Tuch, das also langsam zu Boden sinkt, fallen, so wird dieses sehr schnell von dem untern Strom seewärts getrieben. Diese letzte Strömung, die man an unserer Küste den Sog nennt, ist oft so stark, dafs man beim Baden ihr kaum widerstehn kann, und vielfache Unglücksfälle sind durch sie veranlafst.

Eine Eigenthümlichkeit der Meereswellen mufs hier noch erwähnt werden, nämlich dafs sie jedesmal von der Seeseite aus und nahe unter einem rechten Winkel das Ufer treffen, oder

ihre Kämme sind nahe parallel zu dem letztern gerichtet. Sie bewegen sich also in Richtungen, welche zuweilen sehr stark von der des Windes abweichen, auch wohl derselben ganz entgegengesetzt sind. Wenn ein heftiger Wind vom Lande dem Meere zugekehrt ist, so bleibt die Wasserfläche nächst dem Ufer ruhig, indem sie durch das Ufer geschützt ist. Wenn das Ufer aber auch so niedrig ist, dafs es keinen Schutz gewährt, so kann ein starker Wellenschlag dennoch nicht unmittelbar neben demselben entstehn. In der Entfernung von einigen Ruthen bemerkt man zwar schon kleine Wellen, aber erst im Abstande von etwa einer halben Meile bilden sie sich zu grössern aus. Der Einflufs der Nähe der Küste in der Windrichtung ist aber allgemein von grofser Bedeutung, der Wellenschlag ist bei gleicher Windstärke um so heftiger, je länger die Wasserfläche ist, über welche der Wind streicht.

Von wesentlichem Einflufs ist hierbei ferner die Eigenschaft der Wellen, dafs ihre Geschwindigkeit bei abnehmender Tiefe sich verringert. Treten demnach aus der offenen See die Wellen schräge gegen ein Ufer, vor dem eine sehr flache Dossirung bis zur Tiefe des Meeres herabreicht, so bleibt derjenige Theil der Welle, der die Untiefe zuerst erreicht, etwas zurück, und da dasselbe über der weit ausgedehnten Dossirung in grofser Länge geschieht, so nimmt der Kamm der Welle eine Richtung an, die sich immer mehr derjenigen des Ufers nähert. Von einem hohen Ufer aus kann man bei heftigem Wellenschlage diese Veränderung der Richtung sehr deutlich wahrnehmen.

Verändert aber das Ufer seine Richtung, so dafs ein Theil desselben nicht mehr vom Winde getroffen wird, so ändern auch die Wellen bei Verfolgung des Ufers so weit ihre Richtung, dafs sie sogar dem Winde entgegenlaufen, und kleinere Inseln werden bei heftigem Seegange in dieser Weise auf ihrem ganzen Umfange von den dagegen brechenden Wellen angegriffen.

Zur richtigen Auffassung dieser Erscheinungen mufs nochmals daran erinnert werden, dafs die Uebereinstimmung der Bewegung benachbarter Wassertheilchen die Hauptbedingung der Wellenbildung ist. Die Kämme und Thäler müssen daher gewisse Ausdehnung haben, und an ihren Enden mufs auch ein allmähliger Uebergang stattfinden, weil bei ganz verschieden-

artiger Bewegung der sich berührenden Wassertheilchen, die alsdann eintretende starke Reibung die lebendige Kraft bald aufheben würde.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Wellenbewegung gehe ich zur nähern Erklärung derselben über. Wenn auch vielfache Einzelheiten die Regelmäſsigkeit der Erscheinung unterbrechen, so tritt diese doch jedesmal in den wesentlichsten Theilen so übereinstimmend auf, daſs man ihre Abhängigkeit von gewissen Gesetzen nicht bezweifeln kann. Diese Gesetze können nur die allgemeinen dynamischen, oder speciell die hydrodynamischen sein. Ich werde indessen die letzten nicht zum Grunde legen, vielmehr die ersten benutzen, und die Bedingung, durch deren Einführung jene von diesen sich unterscheidet, besonders betrachten. Diese Bedingung ist die der Continuität, also rein geometrisch. Das Wasser bleibt auch während der Wellen-Bewegung eine zusammenhängende Masse, die im Innern sich nicht trennt, und es kann darin nicht der kleinste freie Raum enstehn. Andrerseits ist seine Elasticität, wenn sie auch durch sehr genaue Messungen erwiesen ist, dennoch so unbedeutend, daſs sie bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden darf. Es muſs also die Bedingung eingeführt werden, daſs in allen Perioden der Wellen-Bewegung der ganze innere Raum der Masse vollständig gefüllt bleibt, auch an keiner Stelle Ueberfüllung eintritt. Die Berücksichtigung dieser Bedingung ist vorzugsweise maaſsgebend, und zwar muſs sie bei Wellen von meſsbarer und endlicher Höhe noch zutreffen, denn bei Voraussetzung unendlich kleiner Wellen entzieht sie sich der Betrachtung.

Unter diesem Gesichtspunkt, und ganz abgesehn von den dynamischen Gesetzen, lassen sich schon manche höchst wichtige Einzelheiten der Erscheinung erkennen, und hierdurch vereinfacht sich die Untersuchung. Alsdann muſs aber geprüft werden, ob und unter welchen besondern Bedingungen die dynamischen Gesetze den Eintritt derjenigen Bewegungen gestatten, auf welche die geometrische Betrachtung führt. Es ist noch darauf aufmerksam zu machen, daſs auch solche Bewegungen möglich sind und ohne Zweifel wirklich vorkommen, wobei ein starker Verlust an lebendiger Kraft eintritt, die sich also nur in dem Fall dauernd erhalten können, wenn dieser Verlust durch neue äuſsere An-

regung immer ersetzt wird. Diese stete Anregung erfolgt in der Natur durch den Wind. Mit dem Aufhören des Windes hört auf Wasserflächen von geringer Tiefe auch der Wellenschlag jedes mal gleichzeitig auf.

§. 2.

Wellen auf Wasserflächen von unendlicher Tiefe.

Indem die Kämme, wie die Thäler der Wellen sich stets in gröfserer Länge ausbilden, und in allen Querschnitten derselben die Bewegungen übereinstimmen, so ergiebt sich, dafs in jeder verticalen Ebne, die in der Richtung der Bewegung der Welle liegt, die beiderseitigen Pressungen an jeder Stelle gleich grofs sind, dafs also keine Veranlassung vorliegt, welche ein Wassertheilchen, das sich in dieser Ebne befindet, durch Seitenbewegung aus derselben entfernen könnte. Hiernach genügt es, die Untersuchung auf die Bewegungen zu beschränken, welche in einem Raume stattfinden, der durch zwei nahe nebeneinander gedachte Vertical-Ebnen begrenzt wird, die in derjenigen Richtung stehn, in der die Welle fortschreitet.

Nach den vorstehend mitgetheilten Erfahrungen entsteht die Wellen-Bewegung dadurch, dafs die einzelnen Theile der Wassermasse gewisse geschlofsne Bahnen durchlaufen. Diese müssen aber solche Lage und die Wassertheilchen in ihnen solche Geschwindigkeiten haben, das nirgend ein leerer Raum entsteht, noch auch irgendwo Ueberfüllung eintritt. Aus dieser Bedingung, die nur zu geometrischen Betrachtungen führt, ergeben sich schon verschiedene höchst wichtige Aufschlüsse über die Wellen-Bewegung in tropfbaren Flüssigkeiten, also namentlich im Wasser*).

Zunächst werde der Weg betrachtet, den ein Wassertheilchen verfolgt, welches in der freien Oberfläche liegt. Dasselbe bleibt dauernd in der Oberfläche, denn wenn es durch ein andres, das Anfangs sich unter ihm befindet, verdrängt werden sollte, so müfste dieses zur Seite an ihm vorübergehn, oder in der darunter

*) Die Untersuchungen in diesem und den beiden folgenden Paragraphen sind ausführlicher mitgetheilt in meiner Abhandlung „Ueber Wellen auf Gewässern von gleichmäfsiger Tiefe" in den Abhandlungen der Königlichen Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1861.

liegenden Schicht müſste die Bewegung wesentlich verschieden sein. Beides ist nach Vorstehendem nicht der Fall.

Die Bahn, welche ein Wassertheilchen der Oberfläche durchläuft, messe man durch rechtwinklige Coordinaten, deren Anfangspunkte im Mittelpunkt der Bahn liegen, oder falls die Bahn keine symmetrische Figur sein sollte, in irgend einem Punkt, der jedoch lothrecht unter dem obern Scheitel der Bahn und innerhalb der letztern liegt. Die Zeit werde von dem Moment ab gezählt, in welchem das Wassertheilchen in dem obern Scheitel seiner Bahn sich befindet, also den obern Scheitel der Welle bildet. In diesem Stande ist die lothrechte Ordinate ein Maximum und die horizontale Abscisse gleich Null.

Nach der Zeit t sei dasselbe Wassertheilchen von A nach K gelangt (Fig. 2). Der Punkt K werde durch rechtwinklige Coordinaten x und y bestimmt. x ist die horizontale Entfernung von der Linie AM, und y die Höhe über dem beliebig unter A gewählten Anfangspunkt der Coordinaten.

In derselben Zeit hat der Scheitel der Welle den Weg AB und zwar in derselben Richtung zurückgelegt, in der das Wassertheilchen im obern Theil seiner Bahn sich bewegte. Die Geschwindigkeit der Welle ist constant, insofern die Wassertiefe und andre Umstände, die vielleicht darauf Einfluſs haben, sich nicht ändern. Diese Geschwindigkeit sei c. Der Scheitel der Welle hat also den Weg ct durchlaufen, die horizontale Entfernung des Scheitels von dem betrachteten Punkt K ist daher nunmehr $ct - x$.

Miſst man die Oberfläche der Welle gleichfalls durch rechtwinklige Coordinaten x' und y', deren Anfangspunkte lothrecht unter dem jedesmaligen Scheitel der Welle und zwar in derselben Höhe sich befinden, wie diejenigen, von welchem ab die Bahn des einzelnen Wassertheilchen gemessen wurde, so hat man für letztere

$$x' = ct - x$$
$$y' = y$$

x' zählt in entgegengesetzter Richtung von x, daher haben dx' und dx entgegengesetzte Zeichen.

Betrachtet man ferner die Bewegung eines unter der Oberfläche belegenen Wassertheilchens a, das gleichfalls eine geschlossne Bahn und zwar in derselben Zeit, wie das obere durchläuft, so

würde die von diesem beschriebene Wellenlinie sichtbar werden, wenn die darüber liegenden Wasserschichten entfernt würden. Wenn nun eine Vertical-Ebene mit der Geschwindigkeit c durch das Wasser geschoben würde, und sowol das in der Oberfläche befindliche Wassertheilchen, wie das tiefer belegene, welche die Scheitel ihrer Bahnen gleichzeitig erreichen, gewisse Eindrücke darauf hinterließsen, also die Wege darauf zeichneten, die sie relativ gegen die bewegte Ebene zurücklegen, so müſste nach obiger Bedingung der Raum zwischen beiden Linien stets gefüllt sein. Hieraus ergiebt sich, daſs die Dicke dieser Schicht auf die relative Geschwindigkeit der darin befindlichen Wassertheilchen schlieſsen läſst, da die zwischen liegende Wassermasse sich nicht ändert. Als der obere Scheitel gezeichnet wurde, bewegte sich das Wassertheilchen in derselben Richtung, wie die Ebene, bei dem untern Scheitel aber in der entgegengesetzten, daher ist die relative Bewegung im ersten Fall kleiner, als im letzten, und insofern die Dicke der Schicht immer gleich ist dem Quotient der Masse des Wassers dividirt durch dessen relative Geschwindigkeit, so ist die Dicke der Schicht im obern Scheitel der Welle gröſser, als im untern. Hieraus ergiebt sich schon, wie bei der vorausgesetzten Bewegung der einzelnen Theilchen und zwar ganz in Uebereinstimmung mit der Bedingung, daſs der innere Raum jedesmal vollständig gefüllt sein muſs, daſs die Wassermasse sich stellenweise hebt und stellenweise senkt, also die Wellenbildung erfolgt.

Eine wichtige Frage ist es aber, ob bei allen in der beschriebenen Art dargestellten Wellenlinien die Scheitel zusammentreffen, also lothrecht unter einander liegen. Nach der oben erwähnten Erscheinung beim Versinken eines Tuches oder Papierblattes scheit die Erfahrung dieses zu bestätigen. Geschieht dieses aber wirklich, so folgt daraus, daſs auch die verschiedenen unter einander gebildeten Wellen mit g l e i c h e r G e s c h w i n d i g k e i t fortschreiten. Plötzliche Abweichungen können nirgend vorkommen, weil sonst die Bedingung der Continuität nicht erfüllt wäre, auch einzelne leere Räume und zugleich solche Stellen sich bilden müſsten, wo das nächste Wassertheilchen noch in den Raum einträte, den das erste schon vollständig anfüllt. Aber auch allmählige Uebergänge, die durch unendlich kleine Abweichungen

vermittelt werden, würden nur möglich sein, wenn die Geschwindigkeiten, mit denen die unter einander befindlichen Wassertheilchen ihre Bahnen durchlaufen, wesentlich verschieden wären und in endlichen Abständen immer andre Wassertheilchen mit einander in Berührung brächten, was der Wahrnehmung widerspricht, dafs bei grofsen Tiefen der Wellenschlag nach dem Aufhören des Sturms noch lange anhält, also keine namhafte Reibung der Wassertheilchen unter sich statt finden kann. Aufserdem leuchtet ein, dafs nach der letzten Voraussetzung die Anschwellungen der über einander liegenden Schichten sich wenigstens theilweise aufheben müfsten und sonach die Wellenerhebung der Oberfläche nicht in der einfachsten Art eintreten würde.

Obwohl dieser Zweifel sich nicht durch directe Beobachtung vollständig beseitigen läfst, so ist die Annahme übereinstimmender Bewegungen in allen unter einander befindlichen Wassertheilchen, welche denselben Wasserfaden bilden, gewifs die plausibelste. Ich führe sie also ein, und untersuche, ob sie Resultate giebt, die sich sowol an die geometrischen, wie an die dynamischen Gesetze anschliefsen. Schliefslich werde ich die auf solche Weise dargestellten Gesetze der Wellenbewegung mit verschiedenen Beobachtungen vergleichen, und wenn sie mit diesen soweit übereinstimmen, als die Sicherheit der Messungen gestattet, so dürfte jener Zweifel beseitigt sein.

Nach allen Erfahrungen behält das Wasser selbst unter dem stärksten Druck noch seine volle Beweglichkeit, und seine Geschwindigkeit oder die Aenderung derselben wird nur durch die Differenz der Pressungen von der einen und der andern Seite bedingt, ohne dafs die absolute Gröfse derselben hierauf irgend welchen Einflufs hat. Macht man also die Voraussetzung, dafs jedes in irgend einer Tiefe befindliche Wassertheilchen während der Bewegung in seiner Bahn unverändert einen gleichen Druck von den darüber liegenden Schichten erleidet, so wird es sich nach denselben Gesetzen, wie das in der Oberfläche befindliche bewegen. Ob diese Voraussetzung richtig ist, kann erst später, bei Betrachtung der dynamischen Verhältnisse entschieden werden.

Indem ferner beim Tauchen, wie auch aus der Lagerung herabgesunkener Gegenstände die Thatsache festgestellt ist, dafs die Wellenbewegung in der Tiefe sich wesentlich vermindert, so

darf auch die zweite Voraussetzung gemacht werden, dafs nämlich die unter sich ähnlichen Bahnen einzelner Wassertheilchen in gröfserer Tiefe immer geringere Demensionen annehmen und schliefslich in Punkte übergehn. Letzteres ist nothwendig, wenn man nicht annehmen wollte, dafs unmittelbar über dem Grunde die Wassertheilchen sich weit hin- und herschieben, wobei eine starke Reibung eintreten müfste, was allerdings bei Wellen auf flachem Wasser geschieht. Betrachtet man wieder die Wassertheilchen, die vor der Wellenbewegung lothrecht unter einander lagen, als zu einem Faden verbunden, so wird letzterer bei der Bewegung sich vor und zurück überneigen, aber sein Fufs wird in der unendlichen Tiefe an derselben Stelle bleiben.

Es wird also vorläufig angenommen, dafs die Bahnen, in welchen die einzelnen Elemente desselben Wasserfadens sich bewegen, ähnliche Figuren sind und übereinstimmend durchlaufen werden. Hiernach sind nicht nur die Umlaufszeiten gleich, und alle Theile des Fadens treten gleichzeitig in die obern und untern Scheitel, sondern wenn man die Bahnen nach Polar-Coordinaten misst, deren Anfangspunkte übereinstimmend gewählt sind, dafs alsdann auch die Winkel φ, die jedesmal der Radius Vector mit dem Lothe macht, in jedem Moment allen zu demselben Faden gehörigen Bahnen gleich grofs sind.

Ein sehr kleiner Theil eines Wasserfadens oder ein Element desselben, sei nach Fig. 2 von den Punkten A und a begrenzt, diese Punkte liegen also in demselben Faden, und durchlaufen die Bahnen AK und ak. Nach t Secunden sind diese Punkte von A und a nach K und k gerückt. Die beiden betreffenden Radien Vectoren KM und km bilden alsdann mit dem durch den Scheitel gezogenen Lothe die gleichen Winkel φ. Der Radius Vector der obern Bahn sei gleich ϱ, der der untern $\varrho - \delta\varrho$, indem durch δ die Abweichungen der beiden Bahnen, durch d dagegen die Differenziale bezeichnet werden, die sich auf die im Laufe der Zeit eintretenden Veränderungen beziehn. Der Abstand der beiden Mittelpunkte der Polar-Coordinaten oder Mm sei gleich δz, indem z die noch unbekannte Entfernung von einem in der Linie AM belegenen Punkte bezeichnet. Nach einer gewissen Zeit t sind die Scheitelpunkte der Wellenlinien nach B und b gerückt, man hat also

$$AB = ab = ct.$$

Die betreffenden Wellenlinien, die in derselben Zeit auf jener mit der Geschwindigkeit der Welle fortgezogenen Ebene durch die Berührung mit beiden Punkten A und a sich dargestellt haben, seien BK und bk. Zieht man durch den Punkt M die Horizontale MG und zählt man von dieser die Ordinaten aufwärts, so sind nach Verlauf der Zeit t die Coordinaten des Punktes K

$$x = HM = \varrho \sin \varphi$$
$$y = HK = \varrho \cos \varphi$$

und in Bezug auf die Wellenlinie

$$x' = HG = ct - \varrho \sin \varphi$$
$$y' = HK = \varrho \cos \varphi.$$

Die entsprechenden Gleichungen für die untere Wellenlinie lassen sich gleichfalls leicht darstellen, doch kann man aus der Vergleichung der beiden betreffenden Werthe für y' nicht unmittelbar die Dicke der Wasserschicht herleiten, weil die zu demselben Winkel φ gehörigen Werthe der x' in beiden Wellenlinien nicht gleich grofs sind, wie sich auch aus der Figur ergiebt. Die Kenntnifs des vertikalen Abstandes beider Wellenlinien von einander ist aber nothwendig, um die geometrische Bedingung der Continuität einzuführen.

Man betrachte die Aenderungen der Erscheinung, wie solche in sehr kleinen, aber gleich grofsen Zeitintervallen eintreten. Das Differenzial dt sei constant. Die Aenderungen des Winkels φ kennt man nicht, noch auch die Beziehung, in der φ zu t und ϱ steht. Indem aber die sämmtlichen nach und nach eintretenden Aenderungen in gleichen Zeitintervallen gemessen werden, so bezeichnet die Gröfse dx' auch die Vergröfserung des horizontalen Abstandes des Wellenscheitels von dem in Betracht gezogenen Punkte k, wie solche in der constanten Zeit dt erfolgt. In jedem Zeitelemente entfernt sich also das untersuchte Wassertheilchen von dem Wellenscheitel um dx' und es mufs jedesmal den entsprechenden Theil der dünnen Schicht ausfüllen. Hieraus ergiebt sich, dafs auch die Fläche des Elementes der Schicht, oder nach der Figur

$$JK \,.\, dx' = df$$

eine constante Gröfse sein mufs. Das Element der Fläche ist aber auch zugleich das des Raumes, wenn die gegenseitige Ent-

fernung der beiden oben erwähnten Vertical-Ebenen gleich Eins gesetzt wird.

Es kommt zunächst darauf an, die Höhe JK zu finden. Man setze den Winkel, den die obere Wellenlinie im Punkte K mit dem Loth macht, gleich ψ. Alsdann wird auch die untere Wellenlinie, die nach der Voraussetzung der ersten unendlich nahe liegt, in dem Punkte J denselben Winkel mit dem Loth bilden. In dem kleinen Dreiecke kCJ, dessen Seite kJ man als gerade Linie ansehn kann, ist sonach der Winkel

$$CJk = \pi - \psi$$

ferner

$$kCJ = \varphi$$

und

$$kC = \delta\varrho$$

Hieraus ergiebt sich

$$CJ = \frac{\operatorname{Sin}(\psi - \varphi)}{\operatorname{Sin}\psi} \,.\, \delta\varrho$$

und wenn man den Abstand der beiden Punkte M und m gleich δz setzt,

$$KJ = KC + CJ$$

$$KJ = \delta z + \frac{\operatorname{Sin}(\psi - \varphi)}{\operatorname{Sin}\psi} \,.\, \delta\varrho$$

Man hat

$$\operatorname{Sin}\psi = -\frac{dx'}{ds'}$$

$$\operatorname{Cos}\psi = \frac{dy'}{ds'}$$

wo ds' das Bogenelement der Wellenlinie bezeichnet. Sin ψ ist aber negativ, weil $\delta x'$ der Bewegung der Welle entgegengekehrt ist. Man erhält hiernach

$$KJ = \delta z + \operatorname{Cos}\varphi \,.\, \delta\varrho + \operatorname{Sin}\varphi \,.\, \frac{dy'}{dx'} \,.\, \delta\varrho$$

und wenn man dieses mit dx' multiplicirt, so folgt

$$df = (\delta z + \operatorname{Cos}\varphi \,.\, \delta\varrho)\, dx' + \operatorname{Sin}\varphi \,.\, \delta\varrho \,.\, dy'$$

Indem nun nach dem Vorstehenden, wenn φ und ϱ als variabel angesehn werden,

$$dx' = c\,dt - \varrho \operatorname{Cos}\varphi \,.\, d\varphi - \operatorname{Sin}\varphi \,.\, d\varrho$$

und

$$dy' = -\varrho \operatorname{Sin}\varphi \,.\, d\varphi + \operatorname{Cos}\varphi \,.\, d\varrho$$

so ergiebt sich endlich

$$df = (c \,.\, \delta z \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta\varrho \,.\, d\varphi) + (c \,.\, \delta\varrho \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta z \,.\, d\varphi) \operatorname{Cos}\varphi - \delta z \,.\, d\varrho \,.\, \operatorname{Sin}\varphi$$

Dieses Flächenelement soll nach der geometrischen Bedingung für

alle Werthe von φ denselben Werth behalten, es mufs daher von Sin φ und Cos φ ganz unabhängig sein, oder die Coefficienten dieser beiden trignometrischen Functionen müssen an sich gleich Null sein. Man hat also zunächst

$$\delta z \,.\, d\varrho = o$$

Der erste Factor kann aber nicht gleich Null sein, denn wenn dieses der Fall wäre, so würden beide Punkte concentrische Curven beschreiben, also die entsprechenden Wellenlinien müfsten sich kreuzen. Hiernach bleibt nur übrig, dafs

$$d\varrho = o$$

oder ϱ eine constante Gröfse ist. Die Bahn, in der das untersuchte Wassertheilchen A sich bewegt, ist also ein Kreis. Da aber die letzte Untersuchung gar nicht voraussetzt, dafs die Curve BK die Oberfläche der Welle darstellt, so gilt das gefundene Resultat auch für jede Bahn, die ein beliebig tiefer belegenes Theilchen auf der mit dem Wellenscheitel fortschreitenden Ebne zeichnet, und alle Wassertheilchen bewegen sich daher in kreisförmigen Bahnen.

Sodann ist auch der Coefficient von Cos φ gleich Null

$$c \,.\, \delta\varrho \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta z \,.\, d\varphi = o$$

also

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c \,.\, \delta\varrho}{\varrho \,.\, \delta z}$$

Der Ausdruck auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens ist aber für jedes einzelne Wassertheilchen constant oder von dem Winkel φ und der Zeit t unabhängig, also ist auch $\frac{d\varphi}{dt}$ eine constante Gröfse.

Die geometrische Bedingung hat hiernach schon zu der wichtigen Folgerung geführt, dafs die vorausgesetzte Bewegung nur möglich ist, wenn jedes einzelne Wassertheilchen eine kreisförmige Bahn mit constanter Geschwindigkeit durchläuft. Der obige Ausdruck für df verdient indessen noch in Bezug auf das allein übrigbleibende erste Glied eine nähere Betrachtung, nämlich

$$df = c \,.\, \delta z \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta\varrho \,.\, d\varphi$$

Die Bedeutung dieses Ausdruckes ergiebt sich, wenn man die Flächen berechnet, die von den beiden Wellenlinien begrenzt werden. Der leichtern Rechnung wegen führe man aber für die

constante Angular-Geschwindigkeit eine andre Bezeichnung ein, nämlich

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

Die Bedeutung dieser neuen Constante r ist an sich klar, sie bezeichnet nämlich den Radius derjenigen Bahn, in welchem das Wassertheilchen mit der Geschwindigkeit der Welle, die gleich c ist, sich bewegt. Hieraus ergiebt sich, dafs die Länge einer Welle von einem obern Scheitel bis zum nächsten gemessen gleich $2r\pi$ ist, weil beim jedesmaligen Vorübergange eines solchen Wellenscheitels auch dasselbe Wassertheilchen im obern Scheitel seiner Bahn sich befinden mufs.

Wenn man die Ordinaten y' von der durch den untern Scheitel der Wellenlinie gezogenen Horizontalen aufwärts mifst, so ist

$$y' = (1 + \text{Cos}\,\varphi)\,\varrho$$

und

$$dx' = (r - \varrho\,.\,\text{Cos}\,\varphi)\,d\varphi$$

$$\int y'\,dx' = (r\varrho - \tfrac{1}{2}\varrho^2)\,\varphi + \varrho\,(r - \varrho)\,\text{Sin}\,\varphi - \tfrac{1}{4}\varrho^2\,\text{Sin}\,2\varphi$$

und zwischen den Grenzen $\varphi = o$ und $\varphi = 2\pi$ oder für eine Wellenlänge

$$\int y'\,dx' = (2r\varrho - \varrho^2)\,\pi$$

Die Länge der Welle ist aber $2r\pi$, daher ist die Wellenlinie von der angenommenen horizontalen durchschnittlich entfernt um

$$\varrho - \frac{\varrho^2}{2r}$$

sie liegt also durchschnittlich unter dem Mittelpunkte der obern Bahn um die Gröfse

$$\frac{\varrho^2}{2r}$$

In gleicher Art liegt die zweite Wellenlinie, die zur Bahn vom Radius $\varrho - \delta\varrho$ gehört, durchnittlich um

$$\frac{\varrho^2 - 2\,.\,\varrho\,.\,\delta\varrho}{2r}$$

unter dem Mittelpunkte dieser Bahn, und da der erste Mittelpunkt um δz höher liegt, als der zweite, so ist der mittlere Höhenunterschied beider Wellenlinien gleich

$$\delta z - \frac{\varrho}{r}\,\delta\varrho$$

Der mittlere Werth von dx' ist aber

$$c \,.\, dt = r \,.\, d\varphi$$

also die elementare Fläche durchschnittlich

$$df = c \,.\, \delta z \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta\varrho \,.\, d\varphi$$

daher mit dem obigen Ausdruck genau übereinstimmend. Dieser Werth ist aber nicht nur der durchschnittliche, sondern der dauernde, der in Folge der geometrischen Bedingung sich nicht verändern darf.

Die erwähnte Bedingung führt noch zu einem andern höchst wichtigen Resultat. Die so eben untersuchten kleinen Flächen lassen sich für den obern und untern Scheitel der Wellenlinie leicht bestimmen. Nennt man nämlich $\varDelta$ die Dicke der Schicht, so ist

für $\varphi = o \ldots \varDelta = \delta z + \delta\varrho$ und $\delta x' = (r - \varrho)\, d\varphi$
folglich ... $df = (\delta z + \delta\varrho)(r - \varrho)\, d\varphi$
und für $\varphi = \pi \ldots \varDelta = \delta z - \delta\varrho$ und $dx' = (r + \varrho)\, d\varphi$
folglich $df = (\delta z - \delta\varrho)(r + \varrho)\, d\varphi$

In beiden Fällen müssen die Flächen df gleich grofs sein, folglich

$$r\delta\varrho = \varrho\delta z$$

Man hat also eine sehr einfache Differenzial-Gleichung zwischen ϱ und z gebildet. Die Gröfse z darf man indessen nicht von unten nach oben zählen, weil ihr Anfangspunkt sonst in die unendliche Tiefe fallen und sie unendlich grofs sein würde. Man mufs sie daher umgekehrt von oben nach unten messen und es empfiehlt sich, ihren Anfangspunkt in den Mittelpunkt derjenigen Bahn zu legen, deren Radius gleich r ist, die also die Wellenlinie als gewöhnliche Cycloïde darstellt. Hiernach wird δz negativ, und man hat

$$\delta z = -r\frac{\delta\varrho}{\varrho}$$

folglich $$z = -r \,.\, \log \,.\, \text{nat} \,.\, \varrho + \text{Const.}$$

Für $z = o$ ist aber $\varrho = r$, daher

$$z = r \,.\, \log \,.\, \text{nat} \,.\, \frac{r}{\varrho}$$

oder $$\varrho = r \,.\, e^{-\frac{z}{r}}$$

Es ergiebt sich hieraus, dafs die Radien der unter einander liegenden kreisförmigen Bahnen immer kleiner, jedoch erst in unendlicher Tiefe gleich Null werden. Die zweite der obigen Vor-

aussetzungen, dafs nämlich die Bahnen, welche die unter einander befindlichen Wassertheilchen beschreiben, bei zunehmender Tiefe immer kleiner werden und bei unendlicher Tiefe in einen Punkt übergehn, ist also bereits durch die geometrische Betrachtung erwiesen.

Es kommt nunmehr darauf an, zu untersuchen, ob und unter welchen Bedingungen die vorstehend dargestellten Bewegungen den dynamischen Gesetzen entsprechen.

Jedes einzelne Wassertheilchen soll mit der constanten Geschwindigkeit $\varrho \frac{d\varphi}{dt}$ eine kreisförmige Bahn vom Radius ϱ durchlaufen. Dieses ist nur möglich, wenn alle einwirkenden Kräfte mit Einschlufs der Centrifugal-Kraft sich gegenseitig aufheben, also weder Beschleunigung noch Verzögerung eintritt. Diese Kräfte sind: die Schwere, die Centrifugal-Kraft und der Druck, den die nächst darunter belegene Wasserschicht auf das untersuchte Theilchen ausübt. Es ist hierbei nicht nöthig, auf die beschleunigenden Kräfte zurückzugehn, vielmehr genügt es, die bewegenden Kräfte oder die Pressungen unmittelbar in Betracht zu ziehn.

Die Schwere wirkt vertikal abwärts. Das Gewicht des Wassertheilchens sei gleich dm.

Die Centrifugal-Kraft wirkt in der Richtung des Radius, also unter dem Winkel φ gegen das Loth. Sie ist gleich

$$\frac{\varrho^2 \cdot d\varphi^2}{2g\varrho \cdot dt^2} dm$$

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} dm$$

Zerlegt man dieselbe, so ist ihre Wirkung in der vertikalen Richtung, im ersten Quadranten der Schwere entgegengesetzt *)

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \operatorname{Cos} \varphi \, . \, dm$$

*) Da in neuerer Zeit dem Buchstaben g mehrfach eine andre Bedeutung beigelegt wird, so mufs bemerkt werden, dafs hier derjenige Weg darunter verstanden ist, den ein im luftleeren Raum herabfallender Körper in der ersten Secunde durchläuft.

und horizontal in derjenigen Richtung gemessen, in der die Wellen fortschreiten

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \operatorname{Sin} \varphi . dm$$

Der Druck der darunter befindlichen Wasserschicht, den ich vorläufig mit D bezeichne, ist durch die Bewegung derselben bedingt. Ruht ein Körper auf einer Unterlage, so drückt er diese mit seinem vollen Gewicht, so lange sie keine vertikale Bewegung hat, oder mit constanter Geschwindigkeit sich hebt oder senkt. Auch durch horizontale Bewegungen wird der Druck nicht verändert. Ist dagegen die verticale Geschwindigkeit der Unterlage beschleunigt oder verzögert, so übt der Körper einen Druck aus, der gleich ist

$$\left(1 - \frac{d^2 y}{2g . dt^2}\right) dm$$

Im vorliegenden Fall, und zwar wieder für den ersten Quadranten der Bahn, ist $d^2 y$ an sich negativ, da aber y aufwärts, also der Richtung der Schwere entgegen gemessen wird, so ändert sich nicht das Zeichen des zweiten Gliedes in der Parenthese. Wäre dm ein fester Körper, so würde dieser Druck lothrecht wirken, da der Körper aber flüssig ist, der Druck sich also in allen Richtungen äufsert, so ist er normal gegen die Oberfläche der Unterlage gerichtet, und vermehrt sich nach Maafsgabe der gröfsern Ausdehnung derselben, so dafs

$$D = \left(1 - \frac{d^2 y}{2g . dt^2}\right) \frac{ds'}{dx'} . dm$$

Indem die Pressungen der darüber befindlichen Schichten hierbei gar nicht berücksichtigt sind, so bezieht sich dieser Ausdruck vorläufig nur auf die in der Oberfläche befindliche Wasserschicht, und es soll später untersucht werden, ob und welche Aenderungen in den tiefer belegenen Schichten eintreten. Der Druck, den das einzelne Wassertheilchen der obern Schicht auf die darunter befindliche Masse ausübt, ist aber eben so grofs, wie der Gegendruck, den sie von der letztern erfährt. Dieser ist für den ersten Quadranten der Bahn schräge aufwärts und zwar der Bewegung der Welle entgegen gerichtet.

Man hat aber

$$d^2y = -\varrho \operatorname{Cos}\varphi\, d\varphi^2$$

$$dt^2 = \frac{r^2}{c^2}\, d\varphi^2$$

$$dx' = (r - \varrho \operatorname{Cos}\varphi)\, d\varphi$$

also
$$D = \frac{(2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi)\, ds'}{2gr^2(r - \varrho \operatorname{Cos}\varphi)\, d\varphi}\, dm$$

folglich der vertikal aufwärts gerichtete Druck

$$\frac{dx'}{ds'} D = \frac{2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi}{2gr^2}\, dm$$

und weil
$$dy' = -\varrho \operatorname{Sin}\varphi \,.\, d\varphi$$

ist der horizontale Druck in der Richtung der Bewegung der Wellen

$$\frac{dy'}{ds'} D = -\frac{(2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi)\, \varrho \operatorname{Sin}\varphi}{2gr^2(r - \varrho \operatorname{Cos}\varphi)}\, dm$$

Hiernach sind die drei verschiedenen bewegenden Kräfte oder Pressungen entwickelt, welche auf die einzelnen Wassertheilchen der Oberfläche einwirken, und sich gegenseitig aufheben müssen, wenn die Bewegungen, welche die geometrische Betrachtung ergab, wirklich stattfinden können. Die vorstehende Untersuchung ist noch insofern einseitig geführt, als sie sich allein auf den ersten Quadranten der Bahn bezog und die Richtungen der Kräfte nur in der Art in Rechnung gestellt wurden, wie sie sich in diesem Fall ergaben. Wenn man indessen irgend einen andern Quadranten wählt, so überzeugt man sich leicht, dafs durch die Aenderung der Zeichen die Hauptresultate, zu denen ich nunmehr übergehe, nicht geändert werden, vielmehr die Summen in ganz gleichen Ausdrücken sich darstellen.

Die kreisförmige und gleichförmige Bewegung kann nur statt finden, wenn ganz unabhängig von dem Winkel φ die Summe der vertikalen Pressungen, wie auch die der horizontalen gleich Null ist.

Die Summe der vertikalen Pressungen ist nach den vorstehenden Entwickelungen und zwar aufwärts gezählt

$$-dm + \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \operatorname{Cos}\varphi \,.\, dm + \frac{2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi}{2gr^2}\, dm$$

also an sich schon gleich Null.

Die Summe der horizontalen Kräfte in der Richtung der Bewegung der Welle ist dagegen

$$\frac{\varrho c^2}{2gr^2}\,\mathrm{Sin}\,\varphi\,.\,dm - \frac{2gr^2 - \varrho c^2\,\mathrm{Cos}\,\varphi}{2gr^2(r - \mathrm{Cos}\,\varphi)}\,\varrho\,\mathrm{Sin}\,\varphi\,.\,dm$$

Setzt man diesen Ausdruck gleich Null, so folgt

$$c^2 = 2gr$$

Dieses ist also die Bedingung, unter der die mechanischen Gesetze jene Bewegung gestatten.

Es kommt nun darauf an, zu untersuchen, in wiefern dieses Resultat noch auf die unter der Oberfläche liegenden Schichten Geltung hat. Dieses geschieht offenbar, sobald es sich herausstellt, dafs die oberste Schicht und jede folgende in ihrer ganzen Ausdehnung einen gleichen Druck auf die nächst darunter befindliche ausübt, also auf die Bewegung derselben keinen Einflufs hat.

Der Druck des in der Oberfläche befindlichen Theilchens dm wirkte auf die Länge ds' mit der Kraft D, also auf die Längeneinheit ist seine Wirkung

$$\frac{D}{ds'} = \frac{2gr^2 - \varrho c^2\,\mathrm{Cos}\,\varphi}{2gr^2(r - \varrho\,\mathrm{Cos}\,\varphi)}\cdot\frac{dm}{d\varphi}$$

und wenn man für c^2 den so eben gefundenen Werth $2gr$ einführt, so ergiebt sich

$$\frac{D}{ds'} = \frac{dm}{r\,.\,d\varphi}$$

Die Längeneinheit der nächst unter der Oberfläche liegenden Schicht erleidet daher einen Druck, der vom Winkel φ ganz unabhängig, also in der ganzen Wellenlänge derselbe ist. Der Druck der obern Schicht übt also keinen Einflufs auf die Bewegung der nächstfolgenden aus, und diese bewegt sich eben so frei, als wenn sie die obere wäre. Dasselbe tritt bei der dritten Schicht und jeder folgenden ein, und es ergiebt sich hieraus, dafs die gefundenen Gesetze für die ganze Wassermasse bis zur vorausgesetzten unendlichen Tiefe herab volle Gültigkeit haben. Hierdurch ist aber auch die Richtigkeit der ersten jener beiden Voraussetzungen, die ich vorläufig einführte, erwiesen, dafs nämlich jede einzelne Wasserschicht, die sich zunächst unter irgend einer Wellenlinie befindet, von der darüber befindlichen bewegten Wassermasse in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäfsig gedrückt wird.

Hiernach erfolgt die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe in höchst einfacher Weise. Jedes einzelne Wassertheilchen durch-

läuft mit constanter Geschwindigkeit eine kreisförmige Bahn. Die Angular-Geschwindigkeiten der sämmtlichen Wassertheilchen sind gleich grofs, die absoluten Geschwindigkeiten sind dagegen dem Radius der jedesmaligen Bahn proportional. Diese Radien stehn in einer gewissen Beziehung zu der Höhenlage des Mittelpunktes der Bahn, sie sind also bei gleicher Tiefe auch gleich grofs, und verkleinern sich abwärts immer mehr, bis sie endlich in unendlicher Tiefe gleich Null werden, oder die Bahnen sich in Punkte zusammenziehn. Jene Wasserfäden bleiben also mit ihren Wurzeln an derselben Stelle des Meeresgrundes und neigen und krümmen sich bei der Wellenbewegung nur hin und her.

Die in gleicher Tiefe befindlichen Wassertheilchen durchlaufen zwar gleiche Bahnen mit gleicher Geschwindigkeit, aber die Stellen, welche sie in denselben gleichzeitig einnehmen, sind verschieden. In der Richtung der Bewegung der Welle gezählt, ist der Centriwinkel, den das betreffende Theilchen in seiner Bahn gegen das Loth bildet, etwas kleiner, als er in der nächst zurückliegenden Bahn in demselben Zeitmomente ist. Die Curve, welche diese Theilchen in ihrer Verbindung darstellen, ist demnach eine Cycloïde, und zwar jedesmal eine gestreckte. Sie könnte zwar auch eine gewöhnliche Cycloïde sein, doch kommt dieses niemals vor. Eine überhöhte Cycloïde ist unmöglich, weil in diesem Fall die Bahnen je zwei zunächst liegender Theilchen in den obern Scheiteln sich durchkreuzen müfsten.

Es dürfte sich empfehlen, die analytischen Ausdrücke, von denen die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe abhängt, zusammenzustellen und zu vervollständigen. Die Bedeutung der darin vorkommenden Bezeichnungen ist folgende.

r ist der Radius des Kreises, von dem die Wellenlänge abhängt, und der die Welle als gewöhnliche Cycloïde darstellen würde. In der Tiefe z darunter gehören die kreisförmigen Bahnen zum Radius ϱ, diese Tiefen z werden zwischen den betreffenden Mittelpunkten der Bahnen gemessen, so dafs sie von der Horizontalen, die durch die Mittelpunkte der mit r beschriebenen Bahnen gezogen ist, abwärts zählen. Ferner ist c die Geschwindigkeit der Welle, v die Geschwindigkeit eines Wassertheilchens, das die mit dem Radius ϱ beschriebene Bahn durchläuft, λ die Länge der Welle von einem obern Scheitel bis zum andern, und τ die

Periode der Welle oder die Anzahl der Secunden, in der eine volle Welle an einem festen Punkt vorüberläuft. Endlich bezeichnet g den in der ersten Secunde durchlaufenen Raum eines frei fallenden Körpers (für Berlin ist $g = 15{,}63245$ Rheinländische Fufs nach der Preufsischen Mafsbestimmung) und e ist die Grundzahl des natürlichen Logarithmen-Systems.

Hiernach ist

$$\lambda = 2r\pi$$

$$z = r \,.\, \log \,.\, \mathrm{nat}\, \frac{r}{\varrho}$$

$$\varrho = r \,.\, e^{-\frac{z}{r}}$$

$$c = \sqrt{2gr} = \sqrt{\frac{g\lambda}{\pi}}$$

$$\tau = \frac{\lambda}{c} = \pi\sqrt{\frac{2r}{g}} = \sqrt{\frac{\lambda\pi}{g}}$$

$$v = \frac{\varrho}{r}\, c$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

der letzte Ausdruck bezeichnet die Angular-Geschwindigkeit, die allen Wassertheilchen gemeinsam ist. Indem der Ausdruck, welcher die Beziehung zwischen der Länge und der Geschwindigkeit der Welle angiebt, vorzugsweise zur Prüfung des aufgestellten Gesetzes durch Beobachtungen dient, so mag noch hinzugefügt werden, dafs man durch Einführung der Zahlenwerthe von g und π für Rheinländisches Fufsmafs erhält

$$c = 2{,}23\, \sqrt{\lambda}$$

Um die Bewegungen der einzelnen Wassertheilchen anschaulich zu machen, sind auf Tafel II sowol diese, wie auch die Formen und Veränderungen der Wasserfäden dargestellt. Fig. 10 zeigt die Bahnen, welche die zu demselben Wasserfaden gehörigen Theilchen durchlaufen. Der oberste, gröfste Kreis ist mit dem willkührlich angenommenen Radius r beschrieben. Vom Mittelpunkte dieses Kreises ab werden die Tiefen z gemessen, die sich jedesmal bis zu den Mittelpunkten der betreffenden Kreise erstrecken. Die zu der letztern gehörigen Radien ϱ sind nach der

vorstehenden Formel berechnet. Es ergiebt sich aus dieser Figur, wie schnell die Radien in der Nähe der Oberfläche kleiner werden, während sie in gröfserer Tiefe viel langsamer abnehmen.

Wenn nun, während diese Bahnen gleichmäfsig von den einzelnen Theilchen eines Wasserfadens durchlaufen werden, eine Ebene mit derselben Geschwindigkeit fortgezogen wird, mit der die Welle sich bewegt, so zeigt Fig 9 die Wege, welche alle Wassertheilchen längs einer solchen Ebene beschreiben. Die oberste Linie, welche die gewöhnliche Cycloïde ist, kommt in der Wirklichkeit nie vor, aber auch die hier dargestellte nächste Wellenlinie zeigt sich wohl niemals, vielmehr sind die Wellen stets flacher. Die Abstände z sind in Figur 9 und 10 so gewählt, dafs die zwischen je zwei Wellenlinien eingeschlossenen Flächen gleich grofs sind.

Fig. 11 deutet die Richtungen an, in welchen die einzelnen Wassertheilchen in einer Welle sich bewegen, während die Richtung, in der die Welle fortschreitet, durch den gröfsern Pfeil angegeben ist. Man bemerkt, wie die Richtungen der Bewegungen im obern und im untern Scheitel einander entgegengesetzt sind und wie sie allmählig in einander übergehn. Auch ergiebt sich aus dieser Figur, wie sehr der Wind die Wellenbildung begünstigen und verstärken kann, wenn die Richtungen beider mit einander übereinstimmen. So lange die Geschwindigkeit des Windes noch gröfser ist, als die der Welle, so beschleunigt er im obern Scheitel, der seiner Einwirkung am meisten ausgesetzt ist, die horizontale Bewegung der hier befindlichen Wassertheilchen. Die herabsinkende Fläche der hintern Böschung, und namentlich die obere Hälfte derselben trifft er gleichfalls, und drückt sie abwärts, wodurch er wieder die Bewegung der hier befindlichen Wassertheilchen befördert. Wo aber diese Bewegungen ihm entgegengekehrt sind, er also dieselbe schwächen oder aufheben würde, da befindet sich die Oberfläche schon im Schutz der nachfolgenden Welle, sein Druck auf diese Theilchen bleibt also sehr geringe, oder kommt vielleicht gar nicht zur Wirksamkeit.

Fig. 12 zeigt die verschiedenen Stellungen, welche ein Wasserfaden beim Vorübergange einer Welle nach und nach einnimmt, und zwar ist derselbe so weit nach oben verlängert, dafs er die gewöhnliche Cycloïde, also die obere Linie in Fig. 9 darstellen

würde. So lange das Wasser sich in Ruhe befand, stand er senkrecht und zwar reichte er bis nahe an den Mittelpunkt des Kreises herauf, den sein oberes Ende beschreibt. Während der Wellenbewegung verlängert und verkürzt er sich abwechselnd und neigt sich nach vorn und nach hinten, wie die verschiedenen Linien der Figur angeben. Um seine Stellungen deutlicher erkennen zu lassen und um Verwechselungen vorzubeugen, sind die fünf Linien, welche den Faden auf seinem Rückgange zeigen, punktirt angegeben. Die sämmtlichen Linien bezeichnen aber nur die Mittellinien des Fadens ohne Rücksicht auf seine Breite, oder auf die Fläche, die er einnimmt.

Fig. 13 endlich zeigt die sämmtlichen Wasserfäden, wie sie in einem Zeitmoment in der ganzen Ausdehnung einer Welle sich gestalten, und wenn man davon absieht, dafs diese Fäden eine unendlich kleine Breite oder Dicke haben, so ist jeder Faden durch die Fläche zwischen je zwei Linien angedeutet. Man bemerkt hier, dafs die Fäden, welche den obern Scheitel der Welle bilden, in dem untern Theil der Zeichnung etwas schmaler sind, als diejenigen, die zum untern Scheitel gehören. Höchst auffallend giebt sich diese Verschiedenheit aber in der Nähe der Oberfläche zu erkennen. Die Figur mufste sogar mit einer gestreckten Cycloïde abgeschlossen werden, weil die Fäden sonst im obern Scheitel in scharfe Spitzen ausgelaufen und die Scheidungslinien zusammengefallen wären. Die hier dargestellten Fäden bezeichnen aber auch die verschiednen Formen und Stellungen, welche derselbe Faden nach und nach einnimmt. Man denke eine Wellenlänge λ in soviel Theile getheilt, als die Periode der Welle τ Zeitelemente dt enthält. Vor dem Beginn der Wellenbewegung, also zur Zeit, wo alle Fäden senkrecht standen und gleich lang, folglich auch gleich breit waren, wurden sie durch lothrechte Scheidungslinien von einander getrennt. Sobald aber die Wellenbewegung eintritt, behalten diese Fäden, die noch immer als von einander getrennt gedacht werden, ihre früheren Volumina vollständig bei und zugleich müssen sie sich stets in ihrer ganzen Ausdehnung vollständig berühren. Sie verlängern und verkürzen sich daher, während sie auch in entsprechender Weise sich verengen und verbreiten. Letzteres geschieht aber nicht gleichmäfsig in der ganzen Höhe, vielmehr tritt diese Veränderung vorzugs-

weise in der Nähe der Oberfläche ein. Die Breite jedes Fadens vor dem Eintritt der Wellenbewegung war gleich $c\,dt$. Nimmt man nun an, dafs die in Fig. 13 dargestellte Ebene, der Richtung der Wellenbewegung entgegen mit der Geschwindigkeit c fortgeschoben wird, so dafs sie also in jedem Zeitelement dt um die ursprüngliche Breite eines Fadens, also um $c\,dt$ zurückgeht, so rückt derselbe Faden jedesmal an die Stelle, welche die Figur für den nächstfolgenden zeigt, und die verschiedenen Stellungen und Verbreitungen oder Verengungen, die derselbe Faden nach und nach annimmt, kann man daher in dieser Figur erkennen. Die Figur umfafst indessen keineswegs diese Veränderungen vollständig, vielmehr setzen sie sich noch weiter abwärts fort, obwohl sie hier immer geringer werden. Beim Vorübergange eines obern oder untern Wellenscheitels befindet sich die Mittellinie jedes Fadens an ihrer ursprünglichen Stelle und steht senkrecht. An allen zwischen liegenden Punkten rückt indessen der Faden nach der einen oder der andern Seite, und neigt sich zugleich vor- oder rückwärts, wie dieses sich auch aus Figur 12 ergiebt.

Die vorstehende Wellentheorie rührt von Franz Gerstner in Prag her, der sie bereits vor 74 Jahren bekannt machte.*) Die Herleitung, die er wählte, ist indessen von der hier gegebenen etwas verschieden, denn zunächst entwickelt Gerstner seine Theorie nicht für die fortschreidenden, sondern für die stehenden Wellen, wie sich solche unterhalb starker Wasserstürze mehr oder weniger auffallend zu bilden pflegen**). In solchen bleibt die Wellenform unverändert an derselben Stelle, die Wassermasse dagegen, die mit grofser Geschwindigkeit zufliefst, wird plötzlich gehemmt, schwillt daher stark an und diese Anschwellung veranlafst demnächst wieder einen beschleunigten Abflufs, so dafs eine zweite, auch wohl eine dritte und vierte schwächere Welle sich bildet. Die Erscheinung ist also der vorstehend untersuchten analog und der Unterschied beruht darin, dafs in diesem Fall die

*) Theorie der Wellen. In den Abhandlungen der Königl. Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften für 1802. Auch besonders gedruckt, Prag, 1804 und in Gilbert's Annalen, Band 32 und in Weber's Wellenlehre wörtlich aufgenommen.

**) Im zweiten Theil dieses Handbuchs § 21 und § 59 ist von denselben die Rede gewesen.

Welle unverrückt stehn bleibt und die Wassermasse, bald verzögert bald beschleunigt, die Querschnitte zwischen den einzelnen Wellenlinien Fig. 9 durchläuft. Die Uebertragung der in solcher Art gefundenen Gesetze auf die Erscheinung der fortschreitenden Wellen hat indessen Gerstner nicht vollständig begründet. Ausserdem aber hat er auch nicht bestimmt nachgewiesen, dass die Oberfläche jeder einzelnen Schicht wirklich überall dem gleichen Druck ausgesetzt ist, er setzt vielmehr voraus, dass die Linien, in welchen der gleiche Druck stattfindet, zugleich die Wege sind, welche in der stehenden Welle die einzelnen Wassertheilchen durchlaufen, und sagt nur, dass wenn ein Theilchen von dieser Linie abweichen sollte, so müsste eine Kraft vorhanden sein, welche dieses Verschieben bewirkt, und sonach würde der Druck von beiden Seiten nicht gleich grofs sein. Dafs dieses Räsonnement bereits von andrer Seite nicht für zutreffend erachtet ist, führt auch Weber an. Die vorstehende Auffassung und Erörterung der ganzen Erscheinung dürfte daher vollständiger begründet sein. Jedenfalls hat Gerstner das Verdienst, die Aufgabe gelöst zu haben, ohne dafs er die Bedingung unendlich niedriger Wellen einführte. Airy ist in neuerer Zeit*) genau zu denselben Resultaten für Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe gelangt und zwar auf einem strenge methodischen Wege, doch bezieht sich seine Untersuchung nur auf Wellen von unendlich kleiner Höhe, er geht also von einer Voraussetzung aus, die in diesem Fall nicht nöthig ist.

Indem die vorstehend entwickelten Gesetze der Wellenbewegung auf der Voraussetzung beruhen, dass die Tiefe unendlich gross ist, so würde es nicht befremden, wenn sie sich an die hin und wieder gemachten Beobachtungen wenig anschliessen, weil diese jedesmal bei endlicher, und oft sogar bei sehr mässiger Tiefe angestellt sind. Nichts desto weniger zeigen sie eine Uebereinstimmung, wie man sie bei der Unsicherheit dieser Messungen nur erwarten durfte, und dieses erklärt sich dadurch, dafs die Radien der kreisförmigen Bahnen in grösserer Tiefe sehr geringe werden, also die hier eintretende Bewegung vergleichungsweise gegen die der obern Schichten wenig in Betracht kommt.

---

*) Airy, Tides and Waves. Encyclopädia metropolitana. Vol. V. pag. 282 ff.

In welcher Weise dabei die Bewegung in der Nähe des Bodens erfolgt, bleibt der spätern Untersuchung vorbehalten. Ich werde zunächst alle Beobachtungen, die mir bekannt geworden sind, mittheilen.

Weber benutzte zwei Glaskasten oder Wellenrinnen, worin er die Wellen erregte. Die gröfsere Rinne, in welcher die wichtigern Beobachtungen angestellt wurden, war 6 Fufs lang, $2^1/_2$ Fufs hoch und 1,12 Zoll weit. Sie wurde 22 bis 23 Zoll hoch mit Wasser angefüllt, und die Wellen wurden dadurch erregt, dafs an einem Ende eine Röhre von 0,48 Zoll Weite 9 Zoll tief eingetaucht, alsdann in der obern Oeffnung geschlossen und bis an die Oberfläche gehoben wurde. Sobald man nun die obere Oeffnung plötzlich frei werden liefs, so stürzte der Wassercylinder heraus und veranlafste die Wellenbewegung. Es war dafür gesorgt worden, dafs sehr kleine Körperchen reichlich im Wasser schwebten, deren Bahnen gemessen werden konnten. Die Resultate waren:

Tiefe unter der Oberfläche.	vertikaler Durchmesser der Bahn.	horizontaler Durchmesser der Bahn.
1 Linie	0,8 Linien	1,14 Linien
3 Zoll	0,4 -	0,75 -
6 -	0,32 -	0,60 -
9 -	0,20 -	0,40 -
12 -	0	0,40 -
15 -	0	0,30 -
18 -	0	0,42 -
21 -	0	0,60 -

Die in verschiedenen Tiefen schwebenden Theilchen bewegten sich also in gewissen Bahnen, die an der Oberfläche am gröfsten waren, nach dem Boden hin aber kleiner wurden. Sehr bedeutende Unregelmäfsigkeiten zeigte diese Beobachtung unverkennbar, namentlich in der Zunahme der horizontalen Durchmesser in den gröfsten Tiefen. Aufserdem findet eine wesentliche Abweichung gegen die gefundenen Gesetze insofern statt, als die Bahnen nicht kreisförmig, sondern flach elliptisch waren. Diese Anomalien dürfen indessen nicht befremden, da in dem Apparat und bei der gewählten Art der Anregung die Wellenbewegung sich nicht regelmäfsig einstellen konnte. Die sehr geringe Breite der Rinne war

gewifs von nachtheiligem Einflufs. Der Wassercylinder stürzte nämlich lothrecht herab, er hatte also eine Bewegung, die sich der Wellenbewegung nicht anschlofs, und konnte daher diese nur unregelmäfsig darstellen. Ein grofser Uebelstand war es auch, dafs jedesmal nur eine einzige mefsbare Welle dargestellt wurde. Nach den Zeichnungen, in denen Weber die Wege der schwebenden Theilchen angiebt, erhielten dieselben einen überwiegenden Impuls in horizontaler Richtung, so dafs sie nach Vollendung des Umlaufs nur etwa auf die halbe Länge des in dieser Richtung durchlaufenen Weges zurückkehrten. Aus der Röhre flossen bei jedem Versuch 1,6 Cubikzoll Wasser aus, diese mufsten bei ihrer Verbreitung in der Rinne die nächsten Wasserfäden um 0,72 Linien, und die in der Mitte der Rinne befindlichen Fäden, auf welche die Beobachtung sich bezog, nahe um jene 0,4 Linien versetzen, welche in den Messungen annähernd sich immer wiederholen. Wenn sonach diese Beobachtungen auch keineswegs die obigen Gesetze bestätigen, so deuten sie doch mit Rücksicht auf die erwähnten störenden Einflüsse jene Bewegungen ungefähr an.

Die kleinere von Weber benutzte Wellenrinne, gleichfalls mit Glaswänden versehn, war 5 Fuss 4 Zoll lang, aber nur 6,7 Linien weit und konnte bis 8 Zoll hoch gefüllt werden. Auch hier waren die horizontalen Durchmesser der Bahnen viel grösser, als die vertikalen, und in der Tiefe von 5 Zoll verschwanden letztere ganz. Die in beiden Rinnen über die Form und Geschwindigkeit der Wellen angestellten Messungen übergehe ich, da die sehr nahe neben einander stehenden Wände ohne Zweifel von wesentlichem Einfluss waren.

Viel wichtiger sind die Beobachtungen, welche hin und wieder im offenen Meer und in Meeresbuchten an Wellen angestellt sind. Die Messungen betreffen aufser der Höhe der Wellen oder 2ϱ ihre Längen oder λ und ihre Gesehwindigkeiten c. Die beiden letzten Gröfsen lassen sich am genausten messen, obwohl auch hierbei eine grofse Sicherheit gewifs nicht erreicht werden kann, da namentlich in der Bucht von Plymouth das bereits oben erwähnte plötzliche Verschwinden der Wellen und das Auftreten von neuen Systemen sehr auffallend in kurzen Zwischenzeiten sich immer wiederholte.

William Walker*) stellte in der Bai von Plymouth bei Wassertiefen von 39 bis 48 Fufs Rheinländisch vierzehn Beobachtungen an, wobei die Längen der Wellen 107 bis 447 Fufs und die Geschwindigkeiten 19,7 bis 44,7 Fuss Rheinl. betrugen. Berechnet man nach der obigen Formel die Längen der Wellen aus den Geschwindigkeiten, so findet man sie meist kleiner, als die beobachteten, in drei Fällen aber gröfser, und zwar in einem Fall sogar um 30 Procent. Nach allen Beobachtungen sind die berechneten Wellenlängen durchschnittlich um 11 Procent kürzer, als sie gemessen waren.

Bei einer Ueberfahrt über den Atlantischen Ocean stellte Stanley**) auf dem Kgl. Schiffe Rattlesnake bei heftigem Winde und grofsentheils nach vielfach wiederholten Schätzungen, die unter sich um 30 Procent und mehr abwichen, sieben vollständige Beobachtungen an. Die Wellenlängen betrugen 192 bis 332 Fuss und die Geschwindigkeiten 36 bis 45 Fufs Rheinländisch. Berechnet man die erstern aus den Geschwindigkeiten, so stellen sie sich in allen Fällen zu grofs heraus, nämlich um 11 bis 34, durchschnittlich um 27 Procent.

Thomas Stevenson theilt noch einige andre Beobachtungen mit***), die ich unter Beibehaltung des Englischen Fufsmaafses folgen lasse:

Scoresby beochtete auf dem Atlantischen Ocean einst Wellen von 790 Fufs Länge. Die Geschwindigkeit derselben wird aber nicht angegeben.

In einem andern Fall maafs oder schätzte er die Länge derselben 559 Fufs, ihre Höhe 43 Fuss und ihre Geschwindigkeit 34 Fufs in der Secunde†).

Am Bishop Rock beobachtete Douglas drei Arten von Wellen, wie nachstehend

2ϱ	λ	c	λ'
8	171	22,8	107
15	1100	91,8	1735
20	2000	133,3	3660

*) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1846. Pag. 109.
**) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1848. Pag. 310.
***) Design and construction of harbours. 1874. Pag. 35.
†) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1850. Pag. 300.

Die vierte Spalte enthält die nach der obigen Formel in Englischem Maass berechneten Längen.

Die Beobachtungen schliefsen sich also wenig an jene Formel an, doch weichen sie bald in einem und bald im andern Sinn von dieser ab. Auch darf man nicht unbeachtet lassen, dass sie sämmtlich nur auf sehr unsichern Schätzungen beruhn.

Ich führe noch eine Beobachtung an, die der Lootsen-Commandeur Knoop mit grosser Vorsicht und unter günstigen Umständen auf dem Haff in der Nähe von Swinemünde anstellte. Die Tiefe war daselbst 14 Fufs. Es wurden zwei Festpunkte gebildet, der eine durch die tief und sicher eingesteckte Peilstange und der andre durch ein vor zwei Draggern liegendes Boot. Letzteres wurde soweit zurückgezogen, dafs ein freier Zwischenraum bis zur Stange von 80 Fufs blieb, wie die darüber ausgezogene Logleine ergab. Von einem Dampfboote aus, das zur Seite ankerte, wurden die Zeiten beobachtet, in welchen derselbe Wellenscheitel von der Spitze des Bootes nach der Peilstange lief. Nach 22 einzelnen Beobachtungen geschah dieses in $6\frac{1}{2}$ bis 8 Secunden, durchschnittlich in 7,205 Secunden. Die Geschwindigkeit der Wellen war also 11,104 Fufs. Die Länge einer Welle oder der Abstand zweier Scheitel liefs sich gleichfalls vom Dampfboote aus, sowol gegen die bekannte Länge des Bootes, als auch an der eingetheilten Logleine sicher beurtheilen, und ergab sich aus wiederholten Vergleichen gleich 25 Fufs. Berechnet man die Wellenlänge aus der Geschwindigkeit, so findet man $\lambda = 24{,}776$, also sehr genau übereinstimmend mit der Messung.

Es bestätigt sich daher die vorstehend entwickelte Wellentheorie durch die Erfahrung selbst wenn die Wassertiefen nur mäfsig sind. Man mufs daher annehmen, dafs in der Nähe des Grundes ein Uebergang in eine andre Bewegung statt findet, welche auf die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und Länge der Welle wenig Einflufs hat.

Ein sehr wichtiger Umstand ist bisher nicht berührt worden, nämlich die Frage, in welchem Maafse die Wellen sich ausbilden, oder welches Verhältnifs zwischen der Länge und Höhe der Wellen, also zwischen 2ϱ und λ sich darstellt. Wäre die Wellenlinie eine gewöhnliche Cycloïde, in welchem Fall ϱ oder der Radius der Bahnen, in denen die Theilchen der Oberfläche

sich bewegen, gleich r wäre, so würde die Höhe zur Länge sich wie $1 : \pi$ verhalten. Solche Höhe erreicht die Welle aber niemals. Jenes Verhältnifs stellt sich vielmehr im äufsersten Fall nach den vorstehend erwähnten Beobachtungen von Stanley wie $1 : 12$, gemeinhin ist es noch kleiner und nach der Messung von Scoresby nur wie $1 : 20$.

Wenn der Wind dem Wasser eine gewisse lebendige Kraft mittheilt, so können die verschiedensten Wellenlängen sich bilden, und die Vermuthung liegt nahe, dafs dasjenige System sich wirklich darstellen wird, bei dem die gegenseitige Reibung der Wasserfäden an einander in einer vollen Wellenlänge vergleichungsweise gegen die derselben Wassermasse mitgetheilte lebendige Kraft ein Minimum ist. Ich habe diese Rechnung in der bereits oben angeführten academischen Abhandlung mitgetheilt. Die lebendige Kraft fand sich

$$L = c^2 \varrho^2 \pi$$

und die Reibung

$$R = \frac{4}{9} \cdot \frac{k c}{r^2} \varrho^3$$

wobei ich nach meinen frühern Untersuchungen *) voraussetzte, die Reibung sei gleich dem Product aus der reibenden Fläche in die erste Potenz der relativen Geschwindigkeit, multiplicirt mit einem constanten Faktor k. Diese Werthe ergaben aber, dafs jenes Minimum eintritt, wenn ϱ, also die Höhe der Wellen, unendlich klein, oder wenn r, also die Länge der Wellen, unendlich grofs wird. Dieses erklärt sich dadurch, dafs gerade in diesem Fall das Ueberneigen der Fäden, welches die stärkste relative Bewegung veranlafst, unmerklich klein wird.

Hieraus erklärt sich, weshalb die Wellenlinien so weit von der gewöhnlichen Cycloïde abweichen, jedenfalls ist aber die Geschwindigkeit des Windes von überwiegendem Einflufs auf diesen Theil der Erscheinung. Der Wind verstärkt nach und nach die Wellen, wie schon oben gezeigt ist. Die Geschwindigkeit der Wellen kann nie gröfser, als die des Windes werden und sie wird sogar

*) Ueber den Einflufs der Temperatur auf die Bewegung des Wassers in Röhren, in den Abhandlungen der Kgl. Academie der Wissenschaften. Berlin, 1854.

immer bedeutend hinter dieser zurückbleiben, weil durch die verschiedenartigen Wellensysteme, die gleichzeitig auftreten, und durch die Reibung ein grofser Theil der Kraft zerstört wird. Man nimmt an, dafs bei Orkanen die Geschwindigkeit des Luftstroms bis 100 Fufs beträgt, ist sie aber auch nur halb so grofs, so ist der Wind schon sehr stark, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man sich auf einem offenen Wagen in einem Eisenbahnzuge befindet, der in der Stunde 7 deutsche Meilen zurücklegt, und nahe diese Geschwindigkeit hatten die Wellen nach Scoresby's Messung. Durch die Geschwindigkeit ist die Länge der Welle gegeben, und deren Höhe bildet sich in dem Maafse aus, dafs die Bewegung, abgesehn von der Reibung und andern Verlusten, die lebendige Kraft aufnimmt, welche der Wind dem Wasser dauernd mittheilt.

Um die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe an einem Beispiel zu erläutern, wähle ich Wellen, die zu den stärkern gehören, die Stanley beobachtete, die aber doch bedeutend schwächer waren, als die von Scoresby gemessenen. Die Wellenlänge sei gleich 300 Fufs und die Höhe der Welle oder die Erhebung des obern Scheitels über den untern gleich 20 Fufs, also

$$\lambda = 300$$
$$\varrho = 10$$

Hieraus ergiebt sich die Geschwindigkeit der Welle

$$c = 38{,}637$$

Die Welle legt demnach in der Stunde $5\,^3/_4$ deutsche Meilen zurück, oder sie läuft so schnell, wie ein gewöhnlicher Personenzug auf der Eisenbahn. Die Wassertheilchen in der Oberfläche haben dagegen nur die Geschwindigkeit von 8,0920 Fufs in der Secunde, oder von $1\,^1/_4$ Meilen in der Stunde. Diese Theilchen bewegen sich aber in kreisförmigen Bahnen, daher in den obern Wellenscheiteln, übereinstimmend mit der Richtung des Windes, und in den untern, derselben entgegengesetzt. Die Geschwindigkeiten wechseln in allmähligen Uebergängen und stellen sich nach $7\,^3/_4$ Secunden wieder wie früher dar, indem

$$\tau = 7{,}7646 \text{ Secunden.}$$

Ferner ist $$r = 47{,}747 \text{ Fufs}$$

und aus r und ϱ findet man die Höhenlage des Mittelpunktes desjenigen Kreises, der die volle Cycloïde darstellen würde, nämlich

$$z = 74{,}643 \text{ Fufs.}$$

Der Spiegel des Meers müfste also um dieses Maafs erhöht werden, wenn die scharf auslaufenden obern Scheitel sich zeigen sollten, durch welche die gewöhnliche Cycloïde sich von der gestreckten unterscheidet. Diese Scheitel würden sich aber $95\frac{1}{2}$ Fufs über die dazwischen liegenden untern Scheitel erheben, oder dieses würde die ganze Wellenhöhe sein.

Endlich ist noch die Abnahme der Bewegung bei gröfserer Tiefe zu untersuchen. In der Oberfläche durchlaufen die Wassertheilchen Bahnen, deren Radien 10 Fufs messen, sie bewegen sich also auf und ab und hin und her um 20 Fufs. In der Tiefe von 50 Fufs ist dagegen ϱ nur noch 3,5092 oder die hin und her gerichtete Bewegung hat sich schon auf 7 Fufs ermäfsigt. In der Tiefe von 100 Fufs ist $\varrho = 1,2315$ Fufs

200 -	= 0,1516	-
300 -	= 0,0186	-
400 -	= 0,0023	-
500 -	= 0,0003	-

Die Bewegung vermindert sich daher in der Tiefe von 200 Fufs schon auf Schwankungen von $3\frac{2}{3}$ Zoll, die bei der langen Periode der Welle kaum noch zu bemerken sein möchten. Indem dieses Beispiel sich aber auf einen heftigen Sturm bezieht, so erklärt es sich, dafs Taucher schon in der Tiefe von etwa 30 Fufs einen mäfsigen Wellenschlag der Oberfläche nicht mehr empfinden.

§ 3.

Wellen auf Wasserflächen von geringer Tiefe.

In der bereits erwähnten Abhandlung „Tides and Waves" untersucht Airy auch diejenige Wellenbewegung, die bei geringer aber constanter Wassertiefe eintritt, und zwar wieder unter der Voraussetzung, dafs nur eine unendlich kleine Erhebung der Wellen statt findet. Er kommt dabei zu dem Resultat, dafs die einzelnen Wassertheilchen elliptische Bahnen durchlaufen, die zwar von der Oberfläche abwärts bis zum Grunde gleiche Excentricität haben, oder bei denen die beiden Brennpunkte gleich weit von einander entfernt sind, deren grofse (also die horizontalen), wie auch kleinen

Achsen bei zunehmender Tiefe sich verkleinern, so dafs unmittelbar über dem Grunde die letztern gleich Null, und die erstern den Abständen der beiden Brennpunkte gleich werden. Die Bewegung soll aber in der Art erfolgen, dafs die excentrischen Anomalien der Zeit proportional wachsen, und die Zeit eines Umlaufs durch alle Bahnen dieselbe ist, und in allen die obern, wie die untern Scheitel von den zu einem Wasserfaden gehörigen Theilchen gleichzeitig erreicht werden.

Der aus der Astronomie entnommene Ausdruck „excentrische Anomalie" bedarf noch der Erklärung. Von dem Punkte, worin ein Himmelskörper sich befindet, der eine elliptische Bahn durchläuft, ziehe man eine Normale auf die grofse Achse der Bahn, und verlängere sie, bis sie den Kreis schneidet, der die grofse Achse zum Durchmesser hat. Zieht man alsdann vom Mittelpunkt dieses Kreises, oder der Ellipse, an den letzten Schnittpunkt einen Radius, so heifst der Winkel, den dieser Radius mit der grofsen Achse bildet, die excentrische Anomalie.

Bezeichnet man letztere durch φ und untersucht man die unter diesen Voraussetzungen eintretenden dynamischen Verhältnisse, so ergiebt sich, dafs $\frac{d\varphi}{dt}$ nicht constant sein kann, wenn man nicht, wie Airy wirklich gethan hat, die kleine Achse unmefsbar klein, und aufserdem annimmt, dafs auch die unter einander liegenden und zu demselben Wasserfaden gehörenden Bahnen übereinstimmend durchlaufen werden. Die in der Oberfläche gebildete Welle würde also nicht mit den darunter entstehenden übereinstimmen, und von der Bedingung der Continuität müfste man ganz absehn.

Airy meint freilich, dafs die von Scott Russel an einer grofsen Wellenrinne angestellten Beobachtungen in Betreff der Geschwindigkeiten der Welle seine Theorie bestätigen, doch erklärt Russel, diese Uebereinstimmung sei nur durch willkührliche Reduction der von ihm gefundenen Resultate erreicht worden.

Indem nun erfahrungsmäfsig auch in Gewässern von geringer Tiefe mefsbare und regelmäfsige Wellenbewegungen eintreten, so versuchte ich zunächst die Eigenthümlichkeiten derselben durch Beobachtungen festzustellen. Der Apparat, den ich dabei benutzte, ist in Fig. 3 und 4 in der Seitenansicht und im Grundriss dar-

gestellt. Das Bassin, in welchem die Wellen erregt wurden, war wieder eine Rinne. Ihre Länge maafs 12 Fufs und ihre Breite, so wie die Höhe 4 Zoll. Sie war aus starkem Zinkblech sorgfältig geformt, und in den scharf abgefaseten Endflächen der einzelnen Bleche zusammengelöthet. Um ein Ausbauchen der Seitenwände zu verhindern, waren diese durch aufrechtstehende starke Bretter unterstüzt, die an die Bohle, welche die Rinne trug, mit Holzschrauben befestigt waren. In der Mitte der Rinne waren in beiden Seitenwänden und zwar einander gegenüberstehend Oeffnungen von $3\frac{1}{2}$ Zoll Breite und Höhe eingeschnitten, welche durch aufgekittete Glasscheiben geschlossen waren. Hiedurch wurde die Gelegenheit geboten, die in der Wassermasse eintretende Bewegung zu beobachten.

Indem die rücklaufenden Wellen überaus störend waren, und Anfangs sogar jede Beobachtung vereitelten, so kam es darauf an, die Wellenbewegung am Ende der Rinne zu zerstören. Die Anbringung eines erweiterten Bassins war von wenig Nutzen, auch der Versuch, die Wellen auf eine geneigte Fläche auflaufen zu lassen, hatte nur geringen Erfolg. Am vortheilhaftesten zeigten sich kleine Blechrinnen, die lothrecht auf dem Boden so befestigt waren, dafs ihre hohlen Seiten den Wellen entgegengekehrt standen. Indem sie die Wellen auffingen, so verursachte zwar jede Rinne wieder eine zurücklaufende Welle, da sie aber auf etwa 2 Fufs Länge vertheilt waren, so traten die partiellen Rückläufe in verschiedenen Zeiten ein und vereinigten sich nicht mit einander. Die Erscheinung wurde hierdurch viel einfacher und regelmäfsiger, ich mufste indessen auch an dem andern Ende der Rinne dieselbe Vorrichtung anbringen, weil sonst die Wellen zu ungleichmäfsig wurden. Die Figuren zeigen diese aufrecht stehenden Rinnen.

Zur Erregung der Wellen benutzte ich eine Vorrichtung, die wesentlich von derjenigen abwich, die Weber angewendet hatte. Es kam nämlich darauf an, nicht eine einzelne, sondern eine lange Reihe von möglichst gleichmäfsigen Wellen darzustellen, an welchen man die Erscheinungen wiederholentlich beobachten und zugleich die verschiedenen erforderlichen Messungen vornehmen konnte. Bewegt man mit der Hand eine Scheibe, welche den Querschnitt der Rinne beinahe ausfüllt, hin und her, so bilden sich an dieser

Stelle Wellen, die von hier aus nach beiden Enden der Rinne laufen. Es mufste also durch eine mechanische Vorrichtung solche Scheibe mit angemefsner Geschwindigkeit vor- und zurückgeschoben werden, auch war es nothwendig, die Geschwindigkeit derselben vergröfsern und vermindern zu können, und eben so mufste auch Gelegenheit geboten werden, die Wege zu verlängern und zu verkürzen, um den Versuch jedesmal in der passendsten Weise anzustellen. Indem ich aber vermuthete, dafs die Wasserfäden während der Wellenbewegung nicht nur vor- und zurückgehn, sondern sich auch zugleich in der jedesmaligen Richtung ihres Weges überneigen, und ich schon durch die Scheibe diejenigen Bewegungen den Fäden mitzutheilen wünschte, die sie wirklich annehmen, so mufste die Scheibe auch in der Art geführt werden können, dafs ihr oberer und unterer Theil beliebig verschiedene Wege beschreiben konnten.

Die Scheibe *a*, welche den Querschnitt der Rinne soweit füllte, dafs sie ohne Seitenreibung hin- und hergezogen werden konnte, wurde hiernach durch zwei Zugstangen *b* und *c* mit einem aufrecht stehenden Hebel *d* verbunden. Die obere horizontale Zugstange *b* spaltet sich und fafst die Scheibe an beiden Enden, um ihre Seitendrehung zu verhindern. Die untere, *c*, welche die Scheibe möglichst tief fafst, kann dagegen an verschiedenen Stellen des Hebels *d* befestigt werden. Geschicht dieses mittelst desselben Bolzen, der die obere Stange führt, so schiebt sich die Scheibe während der Bewegung nur hin und her ohne ihre Neigung zu verändern. Wird diese Zugstange dagegen mit ihrem Einschnitt unmittelbar auf die Achse des Hebels gelegt, so bleibt der untere Rand der Scheibe beinahe unverändert an derselben Stelle, und die Scheibe neigt sich nur hin und her. Zwischen diesen Extremen konnten aber noch sehr verschiedene Arten der Befestigung der untern Zugstange an den Hebel gewählt werden, wodurch andre Verhältnisse zwischen der Neigung und der Länge des Weges sich darstellten. Die Scheibe stand jedesmal lothrecht, sobald der Hebel sich lothrecht stellte. Der Hebel drehte sich um die Achse *e*, die möglichst nahe über dem Boden der Rinne lag. Er bestand aus zwei parallelen Messingstäbchen, in denen die Bolzenlöcher angebracht waren, woran beide Zugstangen mittelst eingesetzter Schraubenbolzen befestigt wurden. Er setzte sich indessen weiter

aufwärts fort, und hier griff die Lenkstange *g* ein, die ihm die Bewegung mittheilte.

Die Lenkstange reichte bis zu einem Krummzapfen, der aus einer starken Messingscheibe heraustrat. Der Zapfen konnte aber in neun verschiedenen Abständen von der Achse der Scheibe befestigt werden, und eben so viele Bolzenlöcher befanden sich diesen gegenüber in gleichen Abständen, wo ein Gegengewicht *k* eingeschroben wurde, welches dem Gewicht des Krummzapfens und der halben Lenkstange gleich war.

Diese Messingscheibe war zur Vermehrung ihres Gewichts und zur Vergröſserung ihres Drehungsmoments noch mit einem starken Bleiringe umgeben und wog $2^1/_2$ Pfund. Sie war mit einer cylindrischen Walze *i* aus Messing verbunden, von 4 Zoll Länge und 0,4 Zoll Dicke. Um leztere wurde der Seidenfaden gewunden, der mittelst des angehängten Gewichts die ganze Maschine in Bewegung setzte. Dieses Gewicht hing aber nicht unmittelbar daran, vielmehr lief der Faden über einen kleinen Flaschenzug von 5 Scheiben, dessen unterer Block das Gewicht trug. Während dieses 10 Fuſs herabsank, wurden gegen 200 Windungen des Fadens abgezogen, oder eben so viele Umdrehungen machte die Messingscheibe und erregte eben so viele Wellen. Die regelmäſsige Bewegung trat indessen immer erst ein, wenn die obere Lage der Windungen abgezogen war und der Faden unmittelbar auf dem Messing-Cylinder auflag. In dieser Weise eigneten sich nur etwa 100 Wellen zu den Beobachtungen. Durch Veränderung des angehängten Gewichts, das 1 bis 3 Pfund betrug, konnte die Periode der Wellen vergröſsert oder verkürzt werden.

An der Walze, welche die Messingscheibe mit dem Krummzapfen trägt, befindet sich an dem entgegengesetzten Ende noch eine Elfenbeinscheibe *m*, die mit einigen Windungen eines Schraubenganges versehn ist, in diese greifen die Zähne eines sehr leichten hölzernen Rädchen *n* ein, das an dem vorstehenden Ende seiner Achse auch zurückgezogen und gegen einen festen Zahn gestellt werden kann. Das Rädchen hat 50 mit Nummern versehene Zähne und wenn man es 10 oder 15 Secunden hindurch in die Schraubengewinde eingreifen läſst, so zeigt es bei dem Einstellen in den festen Zahn, wieviel Wellen in dieser Zeit gebildet wurden.

Indem die Scheibe a, welche die Wellen erregte, ziemlich schwer war und auf dem Boden der Rinne eine starke Reibung erfuhr, so verband ich sie mittelst eines Fadens mit einem in 2 Fuſs Abstand darüber angebrachten Hebel, an dessen anderm Arme ein Gegengewicht hing. Das Gewicht der Scheibe durfte indessen nicht vollständig aufgehoben werden, weil sie sonst, besonders wenn sie sich überneigte, aus dem Wasser sprang.

Es ergiebt sich hieraus, daſs mit diesem Apparat sehr verschiedenartige Bewegungen dargestellt werden konnten. Die Scheibe lieſs sich in vertikaler Stellung hin- und herschieben, man konnte sie aber auch beliebig weit vor- und rückwärts sich überneigen lassen und sogar die Bewegung ihres untern Randes beinahe ganz hemmen. Der Weg den sie zurücklegte, hing von der Entfernung des Krummzapfens von der Achse der Messingscheibe ab, und lieſs sich innerhalb weiter Grenzen verändern. Endlich erfolgte die Bewegung um so schneller oder um so langsamer, je mehr das angehängte Gewicht vergröſsert oder vermindert wurde.

Die horizontale Aufstellung der Rinne war leicht zu prüfen, sobald man Wasser hineingoſs und an verschiedenen Stellen die Tiefen maaſs. Hierzu diente ein Maaſsstab, der abwärts in seiner Verlängerung mit einer $3\frac{1}{2}$ Zoll langen Metallspitze versehn war. Er wurde von einem kleinen Gestell gehalten, das auf den sorgfältig geebneten obern Rand der Rinne überall aufgesetzt werden konnte. In diesem lieſs er sich senkrecht auf- und abschieben und wurde in jeder Höhe durch eine schwache Feder festgehalten. Zuerst schob ich ihn jedesmal so tief herab, daſs die Spitze den Boden der Rinne berührte, alsdann hob ich ihn, bis dieselbe Spitze die Oberfläche des Wassers traf. Letzteres lieſs sich sehr genau erkennen, sobald eine weiſse Fläche über der Rinne befestigt und das Auge so gehalten wurde, daſs der Widerschein derselben das Spiegelbild der Spitze deutlich sehn lieſs. Man konnte alsdann mit groſser Schärfe den Maaſsstab soweit senken, daſs die Spitze mit ihrem Bilde zusammenfiel. Sobald erstere aber auch nur wenig in das Wasser eintauchte, so wurde sogleich die Oberfläche des Wassers gekrümmt, nnd das regelmäſsige Bild verschwand. Zum Ablesen des Maaſses diente ein scharf markirter Zeiger, und mehrfache Wiederholungen derselben Messung ergaben, daſs mittelst dieses Apparats die Tiefen bis auf den hundertsten

Theil eines Zolls sicher gemessen werden konnten. Diese Schärfe war jedoch ganz entbehrlich, weil die Erscheinung selbst, namentlich in der Wellenerhebung, viel gröfsere Unregelmäfsigkeiten zeigte.

Um die Bewegung der Theilchen im Innern der Wassermasse zu erkennen, versuchte ich zunächst, wie Weber dieses gethan hatte, einzelne kleine schwebende Körperchen zu verfolgen. Ich mufste indessen oft lange warten, bevor solche zwischen die beiderseitigen Glasscheiben traten, und überdiefs fehlte hierbei die Gelegenheit, gleichzeitig die Beobachtung in verschiedenen Wassertiefen zu machen. Ich hing deshalb neben einander in verschiedenen Höhen kleine Wachskügelchen von der Gröfse eines gewöhnlichen Nadelknopfes, in welche jedesmal ein Sandkörnchen eingedrückt war. Die feinen Fäden waren 18 Zoll darüber befestigt, so dafs die Kügelchen, ohne ihre Höhe merklich zu verändern, nach vorn und hinten frei ausschwingen konnten. Hierbei zeigte sich schon sehr auffallend, dafs die sämmtlichen Kügelchen und selbst die, welche beinahe den Boden berührten, beim Vorübergange jeder Welle, soweit man es bemerken konnte, übereinstimmende horizontale Bewegungen machten. Sie nahmen jedoch sehr bald verschiedene Stellungen ein, und dieses nicht nur in der Längenrichtung des Rinne, sondern auch seitwärts, wobei die Fäden sich berührten und umschlungen, und in kurzer Zeit hatten sie sich so versponnen, dafs es Mühe machte, und oft unmöglich war, sie wieder zu trennen.

Ich wählte deshalb eine andere Vorrichtung, nämlich eine sehr leichte Scheibe, bestehend aus einem Glimmerblättchen von 1 Zoll Breite und solcher Höhe, dafs sie den Boden beinahe berührte, und beim Vorübergange der Wellen noch so eben stets unter Wasser blieb. Das Blättchen war in der Mitte gespalten, und hier ein feiner Draht hindurchgezogen, der als Drehungs-Achse diente, welche bei dem sehr geringen Gewicht, das sie trug, keiner weitern Befestigung bedurfte. Diese Achse ruhte mit beiden Enden in kleinen Oesen eines aus demselben Draht gebildeten Rahmens, wie Fig. 5 zeigt. Letzterer hing an den beiden Enden eines seidenen Fadens, der etwa 2 Fufs hoch über dem Glimmerblättchen durch zwei andre Oesen an einer verschiebbaren Stange gezogen war. Diese beiden Oesen wurden jedoch bedeutend weiter von einander entfernt, als die des Rahmens, damit letztrer stets

normal gegen die Bewegung der Wellen gerichtet blieb. Endlich mufste das Glimmerblättchen noch an seinem untern Ende durch ein kleines Gewicht beschwert werden, damit es in ruhendem Wasser von selbst sich lothrecht stellte. Das Blättchen wog, wenn es 2 Zoll hoch war, mit Einschlufs des daran angebrachten Gewichts, der Achse und des Rahmens nur 34 Centigramme, und gab daher, wie ich durch sanftes Fortziehn desselben mich leicht überzeugen konnte, sehr sicher die geringsten Bewegungen im Wasser an.

Die Beobachtungen bezogen sich zunächst auf die Höhen oder die vertikalen Abstände der obern und untern Scheitel der Wellen, indem hierbei indessen grofse Verschiedenheiten sich zeigten, so genügte es vollkommen, einen Handzirkel dazu zu benutzen, der an die Glasscheibe gelehnt wurde. In derselben Weise wurde auch der Weg gemessen, den das Glimmerblättchen in einer und der andern Richtung durchlief. Ich benutzte zu der letzten Messung einen zweiten Cirkel, um nicht während der kurzen Dauer des jedesmaligen Versuchs die Ablesung des Maafses vornehmen zu dürfen. Aufserdem wurde die Geschwindigkeit der Wellen beobachtet, d. h. ich bezeichnete durch aufgelegte Stäbchen den Weg, den eine Welle in 3, zuweilen auch nur in 2 Secunden zurücklegte, und zwar geschah dieses nach dem Schlage einer Secundenuhr. Es darf kaum erwähnt werden, dafs diese Messung keine grofse Schärfe hatte. Endlich wurde an dem oben beschriebenen Rädchen noch die Anzahl der in einer gewissen Zeit einander folgenden Wellen beobachtet. Mit der letzten Operation wurde der Anfang gemacht, sobald die obere Lage der Fäden von der cylindrischen Walze abgelaufen war, und gemeinhin blieb nach Ausführung der andern Messungen noch hinreichende Zeit, um die Periode der Wellen nochmals zu bestimmen.

Das wichtigste Resultat, zu dem diese Versuche führten, bestand in der Wahrnehmung, dafs das Glimmerblättchen, das beinahe den Boden der Rinne berührte, sich nur hin und her bewegte, ohne sich abwechselnd nach vorn und rückwärts überzuneigen. Dieses geschah aber nicht nur, wenn die Scheibe, welche die Wellen erregte, so befestigt war, dafs sie dauernd ihre lothrechte Stellung behielt, sondern auch, wenn ihr unterer Rand an derselben Stelle blieb, und sie sich allein nach vorn und hinten

überneigte. Diese Bewegung, welche sie dem Wasser mittheilte, konnte sich daher nicht fortsetzen und war im Abstande von 4 Fuſs schon vollständig in die parallele Verschiebung der Fäden übergegangen. Es zeigte sich auch, daſs die leichten und feinen Staubmassen, die sich am Boden der Rinne bald zu sammeln pflegen, bei jeder Welle eben so weit hin und her geschoben wurden, wie das Glimmerblättchen selbst.

Besonders scharf lieſs sich die Stellung dieses Blättchens beurtheilen, wenn ich es soweit zurückschob, daſs es nicht mehr zwischen den beiden Glasscheiben hing, sondern so eben hinter die undurchsichtige Wand trat. Es reflectirte alsdann das darauf fallende Licht so stark, daſs seine Stellung sehr deutlich zu erkennen war, und in dieser lieſs sich durchaus keine Aenderung beim Hin- und Hergange bemerken. Zur Vergleichung spannte ich noch zwei feine Drähte in einen Rahmen, die unter dem Winkel von 2 Graden gegen einander geneigt waren. Indem ich diesen Rahmen daneben hielt, so konnte ich mich überzeugen, daſs wenn auch wirklich eine sehr geringe Neigung eingetreten wäre, diese doch gewiſs nach jeder Seite die Gröſse von 1 Grad nicht erreichte. Die Beobachtung bot indessen keine Veranlassung, solche überhaupt vorauszusetzen.

Hiernach bestätigt sich eine Aeuſserung von Scott Russell, daſs nämlich bei Wellen auf geringer Tiefe die horizontalen Bewegungen der über einander liegenden Wassertheilchen gleich groſs sind. Wichtiger ist es, daſs auch de la Grange in der von ihm gegebenen Wellentheorie*) von derselben Voraussetzung ausgegangen ist. Dabei ist jedoch wieder angenommen, daſs die vertikalen Bewegungen oder die Höhen der Wellen unendlich klein sind. Ich werde versuchen, diese Beschränkung zu umgehn und zunächst zu prüfen, ob bei dieser Art der Bewegung die geometrische Bedingung auch bei endlicher Höhe der Wellen erfüllt werden kann.

Jeder einzelne Wasserfaden behält hiernach seine vertikale

*) Sur la manière de rectifier deux endroits des principes de Newton, relatifs à la propagation du son et au mouvement des ondes. Nouveaux mémoires de l'Académie royale des sciences et belles lettres. Année 1786. Berlin 1788. pag. 192 ff.

Stellung dauernd bei, und hieraus folgt wieder, dafs er beständig von zwei vertikalen Ebenen, oder im Längendurchschnitte der Welle von zwei vertikalen Linien begrenzt wird, er also vom Fufs bis an sein oberes Ende jederzeit gleich stark ist. Die Wellenbildung kann alsdann nur erfolgen, indem die Fäden sich abwechselnd verlängern und verkürzen, im umgekehrten Verhältnifs mufs ihre Dicke sich dabei jedesmal verändern, oder die Fäden müssen einander genähert oder entfernt werden. Hierauf beruht die horizontale Verschiebung der Fäden, die sich aus den Beobachtungen sehr deutlich erkennen läfst. Der Druck setzt sich daher in derselben Art fort, wie in einer Reihe einander berührender elastischer Körper. Die Wasserfäden werden eben so wie diese, und zwar viel auffallender, stellenweise zusammengedrängt, sie können aber nur nach oben ausweichen, daher erheben sie sich, und in Folge dieses Ueberdrucks entfernen sie sich darauf wieder von einander, wobei sie eine geringere Höhe annehmen, als sie ursprünglich hatten. Diese Bewegung kann augenscheinlich nur eintreten, wenn alle Theilchen eines Fadens abwechselnd sich erheben und sich senken. Dieses ist von de la Grange nicht berücksichtigt, indem er nur unendlich niedrige Wellen untersuchte.

Die einzelnen Wassertheilchen eines Fadens durchlaufen demnach beim Vorübergange jeder Welle wieder geschlossene Bahnen, die sämmtlich gleiche horizontale Durchmesser haben, die vertikalen Durchmesser derselben müssen aber an der Oberfläche des Wassers am gröfsten sein, in der Tiefe immer kleiner und unmittelbar über dem Boden gleich Null werden. Am einfachsten wäre es, elliptische Bahnen vorauszusetzen. Diese Annahme ist aber nicht zulässig, weil sie, wie später sich ergeben wird, die Bedingung einschliefst, dafs die Höhe der Welle gegen die Wassertiefe unendlich klein sein mufs. Diese Beschränkung entspricht aber keineswegs der wirklichen Erscheinung und selbst in meinen Beobachtungen war die Höhe der Welle zuweilen beinahe der halben Wassertiefe gleich.

Die Bahnen müssen daher andre Curven sein, und es genügt, die Gleichung der Ellipse durch Einführung eines neuen Gliedes so zu ändern, dafs sowohl die obern, wie auch die untern Scheitel der Bahnen sich etwas erheben. Ich setze also

$$x = \alpha \operatorname{Sin} \varphi$$
$$y = \beta \operatorname{Cos} \varphi + \gamma \operatorname{Cos} \varphi^2$$

α ist die halbe horizontale und β die halbe vertikale Achse, während φ der Winkel ist, den die vom Mittelpunkt der Bahn an den betreffenden Punkt in derselben gezogene gerade Linie mit dem Loth bildet.

Bezeichnet c die constante Geschwindigkeit der Welle und p die Höhe, in welcher der Mittelpunkt der betreffenden Bahn über dem Boden sich befindet, so sind die Gleichungen der Wellenlinie

$$x' = ct - \alpha \operatorname{Sin} \varphi$$
$$y' = p + \beta \operatorname{Cos} \varphi + \gamma \operatorname{Cos} \varphi^2$$

Die x' bezeichnen hier die horizontalen Abstände vom obern Scheitel der Welle und die y' die Höhen über dem Boden des Bassins.

Denkt man wieder eine volle Welle von einem obern Scheitel bis zum nächstfolgenden durch Vertikal-Linien in soviel Theile eingetheilt, als die Periode der Welle oder τ, Zeitelemente dt enthält, so sind die Flächen dieser sämmtlichen Theile einander gleich, und der untersuchte Wasserfaden wird beim Vorübergange jeder Welle in den auf einander folgenden Zeitelementen nach und nach alle diese einzelnen Flächen einnehmen. Wenn er sich in einer derselben befindet, so bezeichnet die nächstliegende seine Breite und Höhe im folgenden Zeitelement, sie bezeichnet aber auch seine horizontale Verschiebung, indem die Wellen-Ebene um den Weg cdt weiter rückt.

Man hat nun:

$$pc \,.\, dt = y' \,.\, dx'$$
$$= (p + \beta \operatorname{Cos} \varphi + \gamma \operatorname{Cos} \varphi^2)\,(c\,.\,dt - \alpha \operatorname{Cos} \varphi \,.\, d\varphi)$$

Der Einfachheit wegen setze man

$$\frac{\beta}{p} = \varrho$$

und

$$\frac{\gamma}{\beta} = \sigma$$

Man erhält alsdann

$$pc\,.\,dt = p\,(1 + \varrho \operatorname{Cos} \varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos} \varphi^2)\;(c\,.\,dt - \alpha \operatorname{Cos} \varphi \,.\, d\varphi)$$

Hieraus ergiebt sich

$$cdt = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{1 + \varrho \operatorname{Cos} \varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos} \varphi^2}{1 + \sigma \operatorname{Cos} \varphi} \,.\, d\varphi$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{c}{p} \cdot \frac{1 + \sigma \operatorname{Cos} \varphi}{1 + \varrho \operatorname{Cos} \varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos} \varphi^2}$$

Der Winkel φ wächst also nicht gleichmäfsig mit der Zeit t, und wenn man dt als constant ansieht, so ist $d\varphi$ variabel. Aus dem Ausdruck für x' ergiebt sich aber, dafs der Winkel φ in allen zu demselben Wasserfaden gehörigen Elementen jederzeit gleich grofs ist, er also auch um gleiche Werthe von $d\varphi$ in jedem Moment zunimmt. Durch Einführung des so eben gefundenen Ausdrucks für cdt in die Gleichung für dx', findet man

$$dx' = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{d\varphi}{1 + \sigma \operatorname{Cos} \varphi}$$

In zwei zunächst untereinander belegenen Bahnen sei der Abstand der beiden horizontalen Achsen von einander δp und die kleinen Quantitäten, um welche die Werthe von β und γ in der untern Bahn kleiner sind, als in der obern, nenne man $\delta\beta$ und $\delta\gamma$. Die Flächen in der entsprechenden Schicht der Wellenebene müssen einander wieder gleich sein, und da die beiden untersuchten Punkte jederzeit von den vertikalen Achsen ihrer Bahnen gleich weit entfernt sind, so hat man

$$df = dy' \,.\, dx'$$

Wenn man aber dx' nicht durch das variable $d\varphi$, sondern nach dem vorstehenden Werth von $\frac{d\varphi}{dt}$ durch das constante dt ausdrückt, so ist

$$dx' = \frac{cdt}{1 + \varrho \operatorname{Cos} \varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos} \varphi^2}$$

daher

$$df = \frac{\delta p + \operatorname{Cos} \varphi \,.\, \delta\beta + \operatorname{Cos} \varphi^2 \,.\, \delta\gamma}{1 + \varrho \operatorname{Cos} \varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos} \varphi^2} \,.\, cdt$$

oder wenn man die Division ausführt,

$$df = cdt[\delta p - (\varrho\,\delta p - \delta\beta) \operatorname{Cos} \varphi + (\varrho^2\,\delta p - \varrho\sigma\,\delta p - \varrho\,\delta\beta + \delta\gamma) \operatorname{Cos} \varphi^2$$
$$- (\varrho^3\,\delta p - 2\varrho^2\sigma\,\delta p - \varrho^2\,\delta\beta + \varrho\sigma\,\delta\beta + \varrho\,\delta\gamma) \operatorname{Cos} \varphi^3 + \ldots]$$

Die Coefficienten der verschiedenen Potenzen von Cos φ müssen an sich gleich Null sein, also

$$df = cdt \,.\, \delta p$$

was an sich klar ist. Ferner

$$\varrho \,.\, \delta p - \delta\beta = 0$$

oder

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{\delta \beta}{\beta}$$

also β ist proportional der Tiefe p. Ebenso ergiebt sich, wenn man den gefundenen Werth von $\delta\beta$ in den Coefficient von Cos φ^2 einführt,

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{\delta \gamma}{\gamma}$$

Der Coefficient von Cos φ^2 und die der höheren Potenzen werden durch Einführung der Werthe von $\delta\beta$ und $\delta\gamma$ schon an sich gleich Null. Man sieht hieraus, dafs β und γ der Wassertiefe unter dem Mittelpunkte der Bahn proportional sind, oder dafs in jedem Wellensystem β und γ sowol unter sich, als zur Tiefe p in constantem Verhältnifs stehn. Wie dieses Verhältnifs sich gestaltet, läfst sich aus der geometrischen Betrachtung nicht ermitteln.

Letztere führt indessen noch zu einigen andern wichtigen Folgerungen:

$$dx' = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{d\varphi}{1 + \sigma \operatorname{Cos} \varphi}$$

daher $$x' = \frac{2\alpha p}{\beta \sqrt{(1-\sigma^2)}} \operatorname{Arc}\left(tgt = \sqrt{\frac{(1-\sigma)(1-\operatorname{Cos}\varphi)}{(1+\sigma)(1+\operatorname{Cos}\varphi)}}\right)$$

Die halbe Länge der Welle von $\varphi = o$ bis $\varphi = \pi$ ergiebt sich hiernach

$$\frac{\alpha p}{\beta \sqrt{(1-\sigma^2)}}\pi$$

und die ganze Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\alpha p \pi}{\beta \sqrt{(1-\sigma^2)}}$$
$$= \frac{2\alpha p \pi}{\beta}(1 + {}^1/_2\, \sigma^2 + {}^3/_8\, \sigma^4 + \ldots.)$$

Einen sehr einfachen Ausdruck findet man für die beiden Flächen, welche von der Wellenlinie und der durch den Mittelpunkt der Bahn gezogenen Horizontalen oberhalb und unterhalb der letztern eingeschlossen werden, nämlich

$$y\,dx' = \alpha p \operatorname{Cos} \varphi \,.\, d\varphi$$
$$\int y\,dx' = \alpha p \operatorname{Sin} \varphi$$

Die obere Fläche liegt zwischen $\varphi = {}^1/_2\,\pi$ und $\varphi = {}^3/_2\pi$, und die unten zwischen $\varphi = {}^3/_2\,\pi$ und $\varphi = {}^1/_2\,\pi$. Beide sind gleich grofs, nämlich $2\,\alpha p$

Es könnte befremden, dafs die Wassermenge, welche mit dem Kamm der Welle sich über den Horizont des stehenden Wassers erhebt, von der Höhe der Welle, also von β und γ ganz unabhängig ist. Die Höhe der Welle bedingt indessen den Werth von α oder die Verschiebung des einzelnen Wasserfadens. Die Fäden, welche im Stande der Ruhe die Länge $^1/_2\,\lambda$ einnahmen, breiten sich bei der Wellenbewegung bis $^1/_2\,\lambda + 2\,\alpha$ aus, oder drängen sich zusammen bis $^1/_2\,\lambda - 2\,\alpha$, und hieraus ergiebt sich unmittelbar der vorstehende Ausdruck für die gehobene oder herabgesunkene Wassermasse.

Die mechanischen Verhältnisse gestalten sich bei dieser Art der Bewegung augenscheinlich ganz anders, als wenn die Tiefe unendlich grofs ist, und namentlich beruht der Unterschied darauf, dafs die einzelnen Wassertheilchen ihre Geschwindigkeit stets verändern. Hiernach scheint es angemessen, dafs von d'Alembert aufgestellte allgemeine dynamische Princip zum Grunde zu legen. Man darf indessen nicht hoffen, einen vollständigen Anschlufs an dasselbe darzustellen, da die Form der Bahnen willkürlich und nur mit Rücksicht auf die geometrische Bedingung gewählt wurde. Gewifs wäre es vorzuziehn gewesen, dieselbe aus den allgemeinen hydrodynamischen Gleichungen herzuleiten, aber dieser schon so oft vergeblich versuchte Weg bot so grofse Schwierigkeiten, dafs ich mich entschliefsen mufste, mich mit Resultaten zu begnügen, welche die Erscheinung nur annähernd richtig darstellen. Aufserdem wäre bei dieser Bewegung auch die Reibung der Wasserfäden gegen den Boden zu berücksichtigen, woher die volle Uebereinstimmung der gefundenen Gesetze mit der Beobachtung nicht zu erwarten ist. Ein günstiger Umstand ist es dagegen, dafs auf Wasserflächen von gröfserer Tiefe diese Bewegung schon in geringer Höhe über dem Boden in diejenige übergeht, welche sich bei unendlicher Tiefe darstellt, und sonach die bleibenden Fehler von geringem Einflufs auf die Haupt-Resultate sind. Diese Untersuchung dürfte daher vorzugsweise nur in sofern wichtig sein, als sie nachweist, in welcher Art die eine Bewegung in die andre übergeht.

Abgesehn von denjenigen äufseren Kräften, welche ursprünglich die Wellenbewegung veranlafsten oder sie später verstärkten, kann nur die Schwere als beschleunigende Kraft gelten, und allein

in Rechnung gestellt werden. Ihre Wirkung beschränkt sich darauf, dafs von zwei einander berührenden Wasserfäden der von der Welle früher getroffene einen gewissen positiven oder negativen Druck auf den andern ausübt. Dieser Druck wirkt aber nach dem bekannten hydrostatischen Gesetz gleichmäfsig in der ganzen Höhe der Fäden. Wollte man bei der nahe übereinstimmenden Höhendifferenz dreier einander berührender Fäden annehmen, auf den mittlern Faden wirke eine Kraft, welche dem Doppelten dieser Differenz gleich sei, so würde man jeden Ueberdruck zweimal in Rechnung stellen, was unrichtig wäre. Dieser Ueberdruck ist, wenn die Breite der Fäden und eben so auch das Gewicht der Raumeinheit des Wassers 1 gesetzt wird, gleich dy' oder dy. Derselbe übt auf die ganze Länge des folgenden Fadens den Druck $y'.dy'$ aus. Die Masse des letzteren ist aber $y'.dx'$, daher die horizontale beschleunigende Kraft vergleichungsweise zur Schwere

$$X = \frac{dy'}{dx'}$$

Sollte aufserdem noch eine gewisse vertikale beschleunigende Kraft in Betracht kommen, so könnte dieselbe nur $\frac{dy'}{y'}$, also unendlich klein sein. Eine solche Annahme wäre aber auch in sofern nicht statthaft, weil alsdann dieselbe Höhendifferenz als Ursache zweier beschleunigenden Kräfte eingeführt würde, was wieder nicht statthaft ist, sobald es sich um Bewegungen handelt. Die verticale beschleunigende Kraft ist daher

$$Y = o$$

Nach dieser Auffassung der Erscheinung, die mit derjenigen von de la Grange genau übereinstimmt, wird jede Einwirkung ausgeschlossen, welche entferntere Wassermassen ausüben könnten. In communicirenden Röhren überträgt sich zwar der Druck auf weitere Abstände, doch geschieht dieses nur, weil die zwischenliegenden Verticalschichten durch feste Wände eingeschlossen sind, und deshalb weder in Höhe, noch Breite sich ausdehnen können. Im offenen Wasser dagegen ist dem nächsten Faden oder der nächsten Schicht die Gelegenheit geboten, die Höhe zu vergröfsern, und indem dieses geschieht, entsteht die Welle.

Man hat sonach die Bedingungsgleichung

$$O = \Sigma \left[m \,.\, \delta x \left(\frac{d^2 x}{dt^2} - 2g \frac{dy'}{dx'} \right) + m \,.\, \delta y \frac{d^2 y}{dt^2} \right]$$

und wenn man statt der willkürlichen durch δx und δy bezeichneten Bewegungen die wirklich eintretenden oder dx und dy einführt, und integrirt, so folgt

$$O = \Sigma \left[{}^1\!/_2\, m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + {}^1\!/_2\, m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - 2mg \int \frac{dy' . dx}{dx'} \right]$$

Das erste Glied hat für alle zu demselben Wasserfaden gehörigen Theilchen dieselbe Bedeutung, so auch das letzte, weil die beschleunigende Kraft $\frac{dy'}{dx'}$ auf alle gleichmäſsig wirkt. Das zweite Glied hat dagegen für jedes dieser Theilchen einen andern Werth. Die geometrische Betrachtung ergab bereits, daſs die Gröſsen β und γ den Abständen der Mittelpunkte der betreffenden Bahnen vom Boden proportional sind. Dieser Abstand sei für irgend eine der zu demselben Faden gehörigen Bahnen gleich h, während für die Bahn des die Oberfläche bildenden Theilchens der Abstand vom Boden gleich p ist. Die Veränderung in der Höhenlage jenes Theilchen sei gleich $d\nu$, während y und dy sich allein auf dieses oder auf die Oberfläche beziehn. Alsdann hat man

$$d\nu = \frac{h}{p}\, dy$$

und die Masse dieses Wassertheilchen

$$m = dx' . dh$$

daher seine lebendige Kraft in vertikaler Richtung

$$m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{h^2}{p^2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 dx' . dh$$

folglich die Summe derselben oder die lebendige Kraft des ganzen Fadens von $h = o$ bis $h = p$

$${}^1\!/_3\, p\, dx' \left(\frac{dy}{dt} \right)^2$$

Nenne ich nunmehr die Masse des ganzen Fadens μ, so ist

$$\mu = p\, dx'$$

also nimmt das zweite Glied den Werth

$${}^1\!/_3\, \mu \left(\frac{dy}{dt} \right)^2$$

an und die ganze dynamische Bedingungsgleichung wird, wenn man durch μ dividirt,

$$o = {}^1/_2 \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + {}^1/_6 \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 - 2g \int \frac{dy \,.\, dz}{dx'}$$

Hier beziehn sich x und y und deren Ableitungen allein auf die Bewegungen des obern Theils in dem untersuchten Wasserfaden, also auf die Oberfläche. Dasselbe gilt auch von den Bezeichnungen der Bahn-Achsen α, β und γ.

Führt man nun in diese Gleichung die Werthe von dx, dy, dt und dx' durch Functionen von φ ausgedrückt ein, und ordnet dieselben nach den Potenzen von Cos φ, so findet man

$$^1/_2 \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = {}^1/_2\, \varrho^2 c^2 [\text{Cos}\, \varphi^2 + 2(\sigma - \varrho)\, \text{Cos}\, \varphi^3 + \ldots .]$$

$$^1/_6 \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 =$$

$$\frac{\varrho^2 c^2 \beta^2}{6\alpha^2} [1 + (6\sigma - 2\varrho)\text{Cos}\varphi + (13.\sigma^2 - 14.\sigma\varrho + 3.\varrho^2 - 1)\text{Cos}\varphi^2$$
$$+ (12.\sigma^3 - 38.\varrho\sigma^2 + 24.\sigma\varrho^2 - 4.\varrho^3 - 6.\sigma + 2\varrho)\, \text{Cos}\varphi^3 + \ldots .]$$

$$2g \int \frac{dy \,.\, dx}{dx'} = \frac{g\beta^2}{p} (\text{Cos}\, \varphi^2 + 2 \,.\, \sigma\, \text{Cos}\, \varphi^3 + \sigma^2\, \text{Cos}\, \varphi^4 + \text{Const.}$$

Das erste dieser Integrale, welches das Quadrat der horizontalen Geschwindigkeit des Wassertheilchens bezeichnet, ist bei $\varphi = {}^1/_2\, \pi$ und $\varphi = {}^3/_2\, \pi$ gleich Null. Das zweite bezeichnet das Quadrat der verticalen Geschwindigkeit, das gleichfalls Null wird, wenn $\varphi = o$ oder $\varphi = \pi$. Der Ausdruck zeigt dieses, wenn man Cos $\varphi = +1$ oder -1 setzt, denn alsdann werden die einzelnen Glieder der Coefficienten jedesmal durch dieselben Glieder mit entgegengesetztem Zeichen im Coefficient der zweitfolgenden Potenz aufgehoben. In beiden Fällen kommt also keine Constante hinzu. Die Constante des dritten Integrals mufs aber so bestimmt werden, dafs die Summe der drei Glieder gleich Null wird, wenn Cos $\varphi = 0$.

Hiernach ist $$\text{Const} = -\frac{\varrho^2 c^2 \beta^2}{6\, \alpha^2}$$

und diese Constante ist eben so grofs, wie das erste Glied im zweiten Integral. Beide heben sich also gegen einander auf, und der ganze Ausdruck enthält sonach nur Glieder, welche Potenzen von Cos φ als Factoren enthalten. Dividirt man durch Cos φ, so wird bei Cos $\varphi = 0$, auch $6 \,.\, \sigma - 2 \,.\, \varrho = 0$,

also $\varrho = 3\,\sigma$ und $\gamma = {}^1/_3 \dfrac{\beta^2}{p} = {}^1/_3\, \beta\varrho$

Es mufs darauf aufmerksam gemacht werden, dafs, wenn man die Bahnen als gewöhnliche Ellipsen angesehn hätte, alsdann $\sigma = 0$ wäre, folglich nach Vorstehendem auch ϱ oder β gleich Null sein müfste, oder die ganze Untersuchung sich wieder nur auf Wellen von unendlich geringer Höhe bezogen hätte.

Die vorstehenden Ausdrücke lassen sich, nachdem man die Beziehung zwischen ϱ und σ kennt, wesentlich vereinfachen, und man erhält dadurch die Bedingungsgleichung

$$\begin{aligned} 0 = {}& {}^1\!/_2\, \varrho^2 c^2 [\text{Cos}\, \varphi^2 - 4\,\sigma\, \text{Cos}\, \varphi^3 + \ldots.] \\ & + \frac{\varrho^2 c^2 \beta^2}{6\alpha^2} [-(1 + 2\,\sigma^2)\, \text{Cos}\, \varphi^2 + 6\,\sigma^3\, \text{Cos}\, \varphi^3 + \ldots] \\ & - \frac{g\beta^2}{p} [\text{Cos}\, \varphi^2 + 2\,\sigma\, \text{Cos}\, \varphi^3 + \ldots.] \end{aligned}$$

Wenn man nun die Summe der Glieder, die $\text{Cos}\, \varphi^2$ zum Factor haben, gleich Null setzt, und $\frac{\beta^2}{p}$ durch σ ausdrückt, so erhält man

$$c^2 = \frac{2gp}{1 - {}^1\!/_3 \frac{\beta^2}{\alpha^2}(1 + 2\sigma^2)}$$

Der Factor $1 + 2\,\sigma^2$ ist indessen sehr nahe gleich 1, daher annähernd

$$c^2 = \frac{3gp}{1 - {}^1\!/_3 \cdot \frac{\beta^2}{\alpha^2}}$$

Ist die Erhebung der Welle unendlich klein, also $\frac{\beta}{\alpha} = 0$, so folgt

$$c^2 = 2gp$$

Dieses ist dasselbe Resultat, zu dem unter derselben Voraussetzung auch de la Grange gelangt ist. Wenn dagegen, wie meine Messungen ergeben, in der frisch erregten Welle die vertikale Achse der obern Bahn eben so grofs ist, wie die horizontale, oder $\beta = \alpha$, so ergiebt sich

$$c^2 = 3gp$$

Setzt man die Summen der Coefficienten von $\text{Cos}\, \varphi^3$, $\text{Cos}\, \varphi^4$ u. s. w. gleich Null, so ergeben sich keine brauchbaren Resultate. Die kleine Gröfse σ tritt darin jedesmal auf, und meist sogar in

höheren Potenzen, woher die Glieder ziemlich unbedeutend, also nahe gleich Null sind. Wenn ihre Summen diesen Werth aber nicht vollständig erreichen, so rührt dieses davon her, dafs die vorausgesetzte Form der Bahnen den dynamischen Gesetzen nicht genau entspricht.

Ich erwähnte bereits, dafs ich nach meinen Beobachtungen β sehr nahe eben so grofs wie α fand, ich mufs aber hinzufügen, dafs α halb so grofs war, als der Weg, den die Scheibe bei senkrechter Stellung zurücklegte. Nachdem ich mich überzeugt hatte, dafs die Wasserfäden ohne sich überzuneigen nur vor- und zurückgeschoben würden, so gab ich auch der Scheibe diese Bewegung, um die Erscheinung in möglichster Regelmäfsigkeit darzustellen und um die Uebergänge aus einer Bewegung in die andre zu vermeiden, die gewifs einen grofsen Theil der mitgetheilten lebendigen Kraft consumirten. Die Scheibe bewegte sich bis 12 Linien weit hin und her. Ueber dieses Mafs hinaus konnte ihr Weg nicht ausgedehnt werden, weil die Erscheinung sonst zu ungleichmäfsig sich darstellte. Andrerseits durfte der Weg aber auch nicht zu geringe sein, und die Wellen wurden schon ziemlich unregelmäfsig, wenn er unter 6 Linien blieb. Die Gröfse 2α oder der horizontale Ausschlag des Glimmerblättchen stellte sich keineswegs in den einzelnen Beobachtungen immer gleichmäfsig heraus, es traten vielmehr in Folge der von der einen und der andern Seite zurücklaufenden Wellen auffallende Verschiedenheiten ein, durchschnittlich war aber bei dieser Einstellung des Apparates 2α dem Wege gleich, den die Scheibe machte. Eben so grofs war auch die Höhendifferenz zwischen dem obern und dem untern Scheitel der Wellen, und letztere oder der Werth von 2β stellte sich nur merklich geringer heraus, wenn die Wassertiefe weniger als 1 Zoll maafs. Der Grund hiervon ist ohne Zweifel in der verhältnifsmäfsig viel stärkern Reibung zu suchen, die alsdann auf dem Wege von der erregenden Scheibe bis zu der Stelle, wo die Messungen gemacht wurden, einen ansehnlichen Theil der lebendigen Kraft bereits zerstört hatte. Dieses Verhältnifs zwischen α und β dauerte indessen nur so lange, als die Maschine im Gange war. Sobald die Erregung aufhörte, setzten sich die horizontalen Schwankungen noch einige Minuten hindurch fort, und nahmen sogar vorübergehend eine gröfsere Ausdehnung an, während die

Höhe der Wellen sich sehr stark verminderte und bald unmefsbar klein wurde.

Die Messung der Geschwindigkeiten der Wellen war sehr unsicher. Ohnfern der Scheibe legte ich beim Vorübergange eines Wellenscheitels nach dem Schlage der Secundenuhr auf die Rinne ein Stäbchen und nach 3, oder zuweilen auch nur nach 2 Secunden ein zweites Stäbchen an die Stelle, wo dieser Scheitel sich alsdann befand. Die nachstehende Tabelle giebt die Mittelzahlen aus je zehn solcher Messungen an und zugleich die nach den beiden obigen Ausdrücken berechneten Werthe der Geschwindigkeiten

Wassertiefe	c beobachtet	$c = \sqrt{2gp}$	$c = \sqrt{3gp}$
1 Zoll	19,3 Zoll	13,4 Zoll	23,7 Zoll
1,5	24,9	16,5	29,0
2	27,8	19,0	33,5
2,5	33,2	21,3	37,5
3	37,7	23,3	41,1

Man bemerkt, dafs die beobachteten Geschwindigkeiten jedesmal zwischen die beiden berechneten fallen, dafs sie aber namentlich bei den gröfsern Tiefen sich den letzten Werthen nähern. Die Geschwindigkeit, nach dem Ausdrucke $\sqrt{3gp}$ berechnet verhält sich zu der beobachteten bei den 5 verschiedenen Tiefen, wie

1,23 1,17 1,21 1,13 1,09

zu 1. Die Differenz wird also immer geringer, wie der Einflufs der Reibung sich vermindert, und sonach darf man wohl annehmen, dafs dieser Ausdruck für c an sich richtig ist, jedoch von diesen Beobachtungen merklich abweicht, weil in der Rechnung die Reibung nicht berücksichtigt wurde.

Scott Russel hat eine grofse Anzahl ähnlicher Geschwindigkeits-Messungen angestellt*), die in gewisser Beziehung mit gröfserer Schärfe gemacht sind, als mein Apparat gestattete, die aber die Erscheinung in so verschiedenen Stadien ihrer Entwickelung umfassen, dafs man keine befriedigende Resultate daraus ziehn kann. Die von ihm benutzte Wellenrinne war 20 Fufs lang und 1 Fufs breit und hoch. An dem einen Ende befand sich ein

*) Reports of the British Association for the Advancement of Science. London 1837 und 1844.

kleines durch ein Schütz abzuschliefsendes Bassin, in welchem der höhere Wasserstand dargestellt wurde, der zur Erregung der Wellen diente. Sobald dieses Schütz schnell geöffnet wurde, trat die Welle in die Rinne und durchlief diese bis an das hintere Ende. Von hier kehrte sie um, bevor sie aber das Schütz wieder erreichte, war dasselbe bereits geschlossen, so dafs die Welle auch von diesem auf's Neue zurückgeworfen wurde. In einem Fall wurde der Vorübergang der Welle 68mal hinter einander beobachtet, so dafs ihr ganzer Weg 1360 Fufs betrug. Der Vorübergang der Welle an gewissen Stellen wurde indessen nicht gleich Anfangs, sondern nicht früher beobachtet, als bis die Welle schon mehrmals hin und her gelaufen war. Um den obern Scheitel sicher zu erkennen, war eine optische Vorrichtung angebracht, mittelst deren man den Moment wahrnehmen konnte, in welchem die Oberfläche des Wassers den darauf fallenden Lichtstrahl vertical aufwärts reflectirte, und um die Zeit dieser Erscheinung sicher zu bestimmen, glaubte Russel eine Tertien-Uhr benutzen zu müssen.

Die Höhe der Welle wurde an einigen seitwärts angebrachten Glasröhren beobachtet, in denen jedoch kaum die Erhebung sich vollständig darstellen mochte, da diese Vorrichtung bekanntlich die Schwankungen des Wasserstandes vermindert und daher benutzt wird, um die Pegel von der Einwirkung des Wellenschlags unabhängig zu machen. Nichts desto weniger liefsen auch diese Röhren deutlich erkennen, dafs die Wellenhöhe nach und nach sich stark verminderte, also die Erscheinung wesentlich ihre Natur änderte.

Im Ganzen wurden 55 Beobachtungsreihen angestellt, und die Anzahl der einzelnen Messungen beläuft sich auf mehr als 600. Unter diesen wählt Scott Russel 77 aus, bei welchen die Wassertiefen 1 bis $7\frac{1}{4}$ Zoll, und die durchlaufenen Wege 40 bis 240 Fufs maafsen. Die Geschwindigkeiten wurden mit sehr wenigen Ausnahmen gröfser gefunden, als der Ausdruck $c = \sqrt{2gp}$ sie ergiebt, wo p wieder die Tiefe des stehenden Wassers und g den Fallraum in der ersten Secunde bezeichnet. Scott Russel findet, dafs diese 77 Beobachtungen an den Werth

$$c = \sqrt{2g(p+\beta)}$$

sich gut anschliefsen, wo β wieder die halbe Wellenhöhe bedeutet.

Dieses ist allerdings annähernd richtig, doch bestätigt sich dieses Gesetz nicht durch die sämmtlichen Messungen, auch zeigen dieselben vielfach so auffallende und unerklärliche Differenzen, dafs sie wohl nicht als besonders genau angesehn werden können. Eine so grofse Annäherung an den oben entwickelten Ausdruck, wie meine Messungen ergeben, zeigt sich hier nur sehr selten und ohne Zweifel rührt dieses davon her, dafs die Wellen zur Zeit der Beobachtung sich schon geschwächt hatten und β vergleichungsweise gegen den horizontalen Durchmesser der Bahn schon sehr klein geworden war.

Von gröfserer Bedeutung sind die Beobachtungen, welche die Französischen Ingenieure Darcy und Bazin über solche Wellen angestellt haben, die durch plötzliche Zu- oder Abführung von Wasser erregt wurden *). Zunächst wurde hierzu dieselbe sehr regelmäfsig construirte Rinne benutzt, welche zu den Beobachtungen über die gleichförmige Bewegung des Wassers gedient hatte **). Sie war im Lichten 2 Meter weit und mit senkrechten Holzwänden versehn. Indem sie sich zur Seite des Canals von Bourgogne hinzog, so konnte an ihrem untern Ende aus letzterem dasjenige Wasser eingeleitet werden, welches die Welle erregte. Der Theil der Rinne, in welchem die Beobachtungen gemacht wurden, war etwa 250 Meter lang. Ihr Boden war aber nicht horizontal, sondern hatte Behufs jener andern Versuche im Allgemeinen das relative Gefälle von 0,0018.

Zum schnellen Einlassen des Wassers dienten drei Oeffnungen von 0,3 Meter Breite und 0,4 Meter Höhe, über deren untern Rand der Wasserspiegel des Canals sich 0,8 Meter erhob, dieser untere Rand lag aber noch etwa 0,4 Meter über dem Wasserspiegel der Rinne. Die Strahlen traten daher frei aus. Die Klappen welche die Oeffnungen schlossen, waren an der untern Seite angebracht, so dafs der Wasserdruck sie schnell aufstiess, sobald die Riegel zurückgeschoben wurden. Sie mufsten indessen

---

*) Recherches hydrauliques entreprises par Darcy et Bazin. Deuxième Partie. Paris 1865.

**) Ich habe diese Rinne ausführlich beschrieben in meinen „Untersuchungen über die gleichförmige Bewegung des Wassers", Berlin 1876. Verlag von Ernst Korn.

unmittelbar darauf wieder geschlossen werden, um in der Rinne nur eine kurze Welle zu erzeugen.

Die Versuche beschränkten sich nicht allein auf den Fall, dafs die Rinne stehendes Wasser enthielt, sondern man konnte auch, abgesehn von dieser plötzlichen Zuführung des Wassers, eine dauernde Durchströmung darstellen. Durch dreizehn, in Abständen von 20 Metern lothrecht aufgestellte Maafsstäbe wurde die Höhenlage des Bodens und die des Wasserspiegels vor dem Einlassen der Welle bestimmt, beim Vorübergange der letztern wurde aber sowol die Zeit notirt, als auch die Höhe des Wellenscheitels an denselben Maafsstäben abgelesen. Man kannte sonach die Wassertiefen vor der Wellenerregung, wie auch die Erhebung des Scheitels der Welle über das frühere Niveau, oder nach der obigen Bezeichnung die Gröfsen p und β. Aufserdem ergaben die gemessenen Zeiten auch die Geschwindigkeiten der Welle zwischen je zwei Maafsstäben, und es liefs sich hiernach prüfen, ob die Erscheinung den obigen Gesetzen entspricht, oder nicht.

Wenn die Rinne weiter abwärts geschlossen war, also keine Strömung darin stattfand, so schliessen sich die Beobachtungen ungefähr an den obigen Ausdruck

$$c = \sqrt{2g(p+\beta)}$$

an. die Differenzen zwischen den hiernach berechneten und den beobachteten Geschwindigkeiten beschränken sich auf wenige Procente. Die ganze, zwischen den verschiedenen Maafsstäben belegene Strecke kann indessen nicht zusammengefasst werden, da die Tiefe nicht dieselbe ist, vielmehr nach und nach sich vermindert. Die Geschwindigkeiten mufsten also zwischen je zwei Stäben immer besonders berechnet werden. Die Welle, die nur einzeln auftrat, und nach den Mittheilungen keine Spur ihres Vorüberganges zurückliefs, war Anfangs sehr flach und lang ausgezogen. Bei abnehmender Tiefe verkürzte und erhob sie sich aber immer mehr, und namentlich stellte sich ihr vorderer Schenkel immer steiler, so dass sie schliesslich schäumend brach, wenn sie etwa halb so hoch wurde, als die Tiefe des Wassers an dieser Stelle. Das Ausschlagen der lothrechten Wasserfäden beim Vorübergange der Welle wurde nicht beobachtet. Das Verhältnifs von α zu β blieb daher unbekannt.

Demnächst wurden in derselben Rinne auch Wellen dadurch

erregt, dafs man nicht das Wasser plötzlich zufliefsen, sondern man es abfliefsen liefs. Man gab diesen die Benennung negative Wellen, und dabei wurden nicht die obern, vielmehr die untern Scheitel beobachtet. Diese Messungen ergaben sich aber als sehr unsicher, und namentlich liefsen sie sich an den Maafsstäben gar nicht machen. Es wurden daher in Abständen von 100 Metern drei schwimmende Pegel aufgestellt. Bei denselben waren die dünnen Leinen, woran sie hingen, über kleine Achsen geschlungen, an denen sich Zeiger befanden, während Gegengewichte die Leinen spannten. An der Bewegung des Zeigers maafs man nun die Einsenkung des Wassers, während hiernach zugleich die Zeit des Vorüberganges des Wellenthales notirt wurde. Die Beobachtungen schlossen sich annähernd dem Ausdruck

$$c = \sqrt{2g(p - \beta)}$$

an. Die Erscheinung war aber insofern von der frühern sehr verschieden, als eine ganze Reihe kleinerer Wellen der ersten folgte. Aufserdem aber nahmen die Einsenkungen und Erhebungen sehr schnell ab, nämlich bei 100 Meter Entfernung um ein Drittel, zuweilen sogar um die Hälfte.

Ferner wurden sowol in der Scheitelstrecke des Canals von Bourgogne, wie in dem nach der Saone abfallenden Schenkel desselben über positive und negative Wellen Beobachtungen gemacht. Im ersten Fall ist der Canal in dem tiefen Einschnitt durch senkrechte Mauern eingefafst. Seine Breite beträgt 6,5 Meter und seine Tiefe 2,4 Meter. Im zweiten war der Canal durch Erdböschungen begrenzt, in der Höhe des Wasserspiegels etwa 16,5 Meter breit und seine mittlere Tiefe maafs zwischen 1,16 und 1,44 Meter. Indem diese Beobachtungen im Grossen angestellt sind, so habe ich sie speciell durchgerechnet, um die Frage zu entscheiden, ob es sich empfehle, die kleine Correction der Tiefe um die Erhebung oder Senkung der vorüberlaufenden Welle gegen den ursprünglichen Wasserspiegel zu berücksichtigen. Unter Einführung der von Darcy angegebenen Tiefen, Geschwindigkeiten und Wellen-Höhen oder Senkungen gelangte ich zu folgenden Resultaten.

In der ersten Canalstrecke wurden 4 Beobachtungen angestellt, 2 mit positiven und 2 mit negativen Wellen. Die Geschwindigkeiten maafsen 5,02 bis 5,04 Meter und die wahrschein-

lichen Fehler waren bei Anwendung der Formel

$$c = \sqrt{2gp} \qquad 0{,}171 \text{ Meter}$$
$$c = \sqrt{2g(p+\beta)} \quad 0{,}169 \text{ Meter}$$

Für die zweite Canalstrecke bezogen sich 6 Beobachtungen auf positive und 5 auf negative Wellen, die Geschwindigkeiten maafsen 3,58 bis 4,07 Meter und der wahrscheinliche Fehler stellte sich bei Anwendung

der ersten Formel auf 0,187
der zweiten Formel auf 0,200.

Werden beide Beobachtungsreihen vereinigt, so ist der wahrscheinliche Fehler für die

erste Formel 0,167
zweite Formel 0,179.

Nach diesen im Grossen angestellten Messungen schliefst sich also der einfache Ausdruck, der nur die Wassertiefe berücksichtigt, besser an die Beobachtungen an, als wenn die Correction in Betreff der Erhebung oder Senkung der Welle darin eingeführt wird.

Bei den Beobachtungen in der zweiten Canalhaltung wurde man noch auf die rücklaufende positive Welle aufmerksam, die von einer Schleuse zurückgeworfen, wieder nach der andern sich bewegte, und auch hier nicht verschwand, vielmehr aufs Neue denselben Weg durchlief. Die Länge der Canalhaltung maafs 1022 Meter, und es gelang in einem Fall sogar siebenmal, den Vorübergang der Welle zu beobachten, die also nahe 1 deutsche Meile durchlaufen war. Während dieser Zeit blieb aber die Geschwindigkeit unverändert dieselbe. Die Zwischenzeit zwischen einem und dem folgenden Vorübergange der Welle an einem bestimmten Punkte, und in derselben Richtung, in welcher also die Welle zweimal die ganze Länge der Canalhaltung durchlief, fand man:

zwischen dem 1ten und 3ten Vorübergange 9′ 28″
zwischen dem 3ten und 5ten Vorübergange 9′ 40″
zwischen dem 5ten und 7ten Vorübergange 9′ 34″

Die geringen Abweichungen der Zeit dürfen nicht befremden, da bei der immer flacher werdenden Welle ihr Scheitel nicht deutlich zu erkennen war. Hieraus ergiebt sich jedoch wieder, dass die Höhe der Welle auf ihre Geschwindigkeit keinen merklichen Einfluss hat.

Die Beobachtungen über die Wellen in fliessendem Wasser wurden in der bereits erwähnten Versuchsrinne angestellt, in der man durch dauernden Zufluss verschiedener Wassermassen verschiedene constante Strömungen darstellte. Die positiven Wellen, die wieder durch plötzliches Zuführen einer gewissen Wassermasse erregt wurden, bewegten sich gegen das fliefsende Wasser eben so schnell, wie gegen stehendes, und zwar sowol mit, als gegen die Strömung. War die Geschwindigkeit der letztern gleich u und bewegte sich die Welle in gleicher Richtung, so war die absolute Geschwindigkeit der Welle

$$c = \sqrt{2g(p+\beta)} + u$$

und bei entgegengesetzter Richtung

$$c = \sqrt{2g(p+\beta)} - u$$

Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Fällen trat aber insofern ein, als die Welle, wenn sie gegen den Strom lief, sehr schnell niedriger wurde.

Ich habe die Resultate dieser sämmtlichen, gewifs interessanten Beobachtungen hier zusammengestellt, obwol sie zum Theil erst zu den Untersuchungen gehören, von denen in den beiden folgenden Paragraphen die Rede sein wird. Auch muss ich darauf aufmerksam machen, dass die vorstehenden analytischen Ausdrücke mit den von Darcy angegebenen nicht übereinstimmen, weil in den letzten g eine andere Bedeutung hat, und nicht mehr die Fallhöhe in der ersten Secunde, sondern die Beschleunigung durch die Schwere in einer Secunde bedeutet.

Sehr zu bedauern ist, dass bei diesen Versuchen die horizontalen Schwingungen der Wassertheilchen nicht gemessen wurden, worauf doch Weber schon im Jahr 1825 aufmerksam gemacht hatte. Diese Ausdehnung des Versuches wäre aber namentlich in den Vesuchsrinnen überaus einfach gewesen, wenn man von einer mäfsigen Höhe aus eine leichte Scheibe in das Wasser hätte herabhängen lassen. Hierdurch wäre eine viel klarere Erkenntnifs der Wellenbewegung erreicht worden.

Die vorliegenden Beobachtungen von Darcy geben sonach keinen Aufschlufs über die Länge der horizontalen Achsen der Bahnen, welchen die einzelnen Wassertheilchen beschreiben. Nimmt man an, dafs sie vergleichungsweise zu den verticalen Achsen sehr grofs waren, so erklären sich die gemessenen Geschwindig-

keiten der Wellen nach der obigen Untersuchung. Wenn aber nach meinen Messungen die Bahnen der in der Oberfläche befindlichen Theilchen in horizontaler und verticaler Richtung gleiche Ausdehnung hatten, so darf dieses nicht befremden, insofern durch meinen Apparat die Wellen verhältnifsmäfsig viel kräftiger erregt wurden.

Letzteres wäre vielleicht auch dadurch zu erklären, dafs bei der überwiegenden Gröfse der Reibung, welche die Wasserfäden am Boden des Bassins erfahren, die mitgetheilte lebendige Kraft sich um so leichter übertragen kann, je gröfser die verticalen Durchmesser werden.

Diese Bahnen, in welchen $\alpha = \beta$ ist, schliessen sich sehr nahe an die Kreisform an. Im obern und untern Scheitel fallen sie mit dem Kreise zusammen und an beiden Seiten kreuzen sie sich. Um den gröfsten Abstand beider Curven von einander zu ermitteln, ziehe man von dem Anfangspunkt der Coordinaten, welche durch die Gleichungen

$$x = \alpha \text{ Sin } \varphi$$

und

$$y = \beta \text{ Cos } \varphi + \text{Cos } \varphi^2$$

gegeben sind, nach einem beliebigen Punkt der Bahn eine gerade Linie, und verlängere sie, bis sie den Kreis schneidet. Die gesuchte Länge derselben sei gleich z, und der Winkel, den sie mit dem Loth macht, φ. Zieht man ferner von dem erwähnten Schnittpunkt mit dem Kreise eine Linie zum Mittelpunkt desselben, so bildet sich ein Dreieck, in welchem man zwei Seiten und einen Winkel nennt. Die senkrecht stehende Seite ist gleich γ, weil für $\varphi = o$

$$y = \beta + \gamma \quad \text{oder} \quad y = \alpha + \gamma$$

und die obere schräge Seite ist der Radius des Kreises, also gleich α oder β. Und den Winkel, den diese mit dem Lothe macht, sei gleich φ'. Alsdann hat man

$$\text{Cos } \varphi' = \frac{z \text{ Cos } \varphi - \gamma}{\beta}$$

Aus den bekannten Stücken des Dreiecks ergiebt sich

$$z = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + 2\beta\gamma \text{ Cos } \varphi'}$$

und wenn man φ' durch φ ausdrückt,

$$z = \gamma \text{ Cos } \varphi + \sqrt{\beta^2 - \gamma^2 \text{ Sin } \varphi^2}$$

Löst man diesen Ausdruck in eine unendliche Reihe auf, geordnet nach den Potenzen von

$$\frac{\gamma}{\beta} = \sigma$$

so erhält man

$$z = \beta\,(1 + \mathrm{Cos}\,\varphi\,.\,\sigma - {}^1/_2\,\mathrm{Sin}\,\varphi^2\,.\,\sigma^2 + \ldots)$$

Die folgenden Glieder darf man vernachlässigen, da σ schon an sich sehr klein ist.

Der in derselben Linie liegende Radius Vector r, der nur bis zur Bahn reicht, ist dagegen

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$
$$= \beta\sqrt{1 + 2\,\sigma\,\mathrm{Cos}\,\varphi^3 + \sigma^2\,\mathrm{Cos}\,\varphi^4}$$

Wenn man auch hier die Wurzel auflöst und die Glieder mit höhern Potenzen von σ fortlässt, so erhält man

$$r = \beta\,(1 + \mathrm{Cos}\,\varphi^3\,\sigma + {}^1/_2\,\mathrm{Sin}\,\varphi^2\,\mathrm{Cos}\,\varphi^4\,\sigma^2)$$

daraus ergiebt sich der gesuchte Abstand

$$z - r = \gamma\,\mathrm{Sin}\,\varphi^2\,[\mathrm{Cos}\,\varphi - {}^1/_2\,\sigma\,(1 + \mathrm{Cos}\,\varphi^4)]$$

Diese Differenz wird ein Maximum, wenn

$$\sigma = \frac{3\,\mathrm{Cos}\,\varphi^2 - 1}{\mathrm{Cos}\,\varphi\,(1 - 2\,\mathrm{Cos}\,\varphi^3 + 3\,\mathrm{Cos}\,\varphi^5)}$$

Wenn beispielsweise $\sigma = 0{,}033$, also $\varrho = 0{,}1$ oder die volle Wellenhöhe dem fünften Theil der Tiefe gleich ist, so treten die positiven Maxima ein, bei $\varphi = 54^0\ 25'\ 10''$ und $\varphi = 305^0\ 34'\ 50''$, und zwar sind sie gleich $0{,}0124\,.\,\beta$. Die negativen Maxima zeigen sich dagegen bei $\varphi = 125^0\ 44'\ 3''$ und $\varphi = 234^0\ 15'\ 57''$, und ihr Werth ist $= -\,0{,}0132\,.\,\beta$. Die Abweichung beträgt also nur etwa $1\,{}^1/_3$ Procent der Länge des Radius. Zeichnet man die Bahn, so scheint sie in der That ein Kreis zu sein. Man bemerkt die Abweichungen nur, wenn man den richtigen Kreis daneben auszieht.

Gröſser ist die Verschiedenheit, die sich in Bezug auf die Geschwindigkeit der in der Oberfläche befindlichen Wassertheilchen herausstellt.

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$
$$= \frac{\beta}{p}\,c\,\sqrt{1 - 4\,\sigma\,\mathrm{Cos}\,\varphi^3 - (2\,\mathrm{Cos}\,\varphi^2 - 10\,\mathrm{Cos}\,\varphi^4)\,\sigma^2 + \ldots}$$

und wenn man die höheren Potenzen von σ vernachlässigt

$$v = \frac{\beta}{p} c \left(1 - 2 \sigma \operatorname{Cos} \varphi^{3}\right)$$

die geringste Geschwindigkeit tritt daher im obern Scheitel ein, sie ist

$$\frac{\beta}{p} c \left(1 - 2 \sigma\right)$$

und die gröfste, die im untern Scheitel statt findet, ist

$$\frac{\beta}{p} c \left(1 + 2 \sigma\right)$$

Wenn σ wieder gleich 0,033 gesetzt wird, so ist der in die Parenthese eingeschlossene Factor im ersten Falle 0,33 und im zweiten 1,067. Die beiden Extreme verhalten sich also wie

$$1 : 0{,}88$$

Der mittlere Werth dieser Geschwindigkeit ist

$$v = \frac{\beta}{p} c$$

und derselbe ist um so geringeren Schwankungen ausgesetzt, je gröfser die Wassertiefe vergleichungsweise zur Wellenhöhe ist, oder je kleiner ϱ und σ werden.

Die mittlere Angular-Geschwindigkeit ist ferner

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{p}$$

Wenn man in dem obigen Ausdruck für die Länge der Welle die höheren Potenzen von σ vernachlässigt, so ist

$$\lambda = \frac{2 a p \pi}{\beta}$$

oder wenn $\alpha = \beta$

$$\lambda = 2 p \pi$$

Für diesen Fall, also wenn $\alpha = \beta$, war schon oben gefunden

$$c^{2} = 3 g p = {}^{3}/_{2} \frac{g \lambda}{\pi}$$

Die Periode der Welle ist alsdann

$$\tau = 2 \pi \sqrt{\frac{p}{3g}} = \sqrt{\frac{2 \lambda \pi}{3g}}$$

§ 4.

Wellen auf Wasserflächen von gröfserer, jedoch endlicher Tiefe.

Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich auf die beiden Extreme der Erscheinung, nämlich auf Wellen, die sich bei unendlich grofser und bei sehr kleiner Wassertiefe bilden. Ist die Wassertiefe gröfser, jedoch nicht unendlich grofs, und ausserdem auch constant, so können die Bewegungen keinen der beiden entwickelten Gesetze folgen. Wollte man die für kleine Tiefen gefundenen Ausdrücke auch auf gröfsere anwenden, so würden die Geschwindigkeiten schon bei mäfsiger Tiefe sich viel gröfser herausstellen, als sie in der Wirklichkeit vorkommen. Andrerseits können die Wellenbewegungen, die bei unendlicher Tiefe sich darstellen, über einem Boden in endlicher Tiefe nicht eintreten, weil sie unmittelbar über dem letztern entweder leere, oder überfüllte Räume bilden würden. Indem nun aber die zuerst gefundenen Gesetze, namentlich in Bezug auf Geschwindigkeit und Länge der Wellen sich an die Beobachtungen befriedigend anschliessen, welche bei endlicher und zum Theil sogar bei mäfsiger Tiefe gemacht sind, so darf man annehmen, dafs in diesem Fall keine von den bisher untersuchten verschiedene Art der Bewegung eintritt, vielmehr jene beide sich vereinigen, indem an einer gewissen Stelle eine in die andre übergeht.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Bewegungen beruht in der Art und Weise, wie die Wasserfäden hin- und herschwanken. Bei unendlicher Tiefe steht ihr Fufs unbeweglich an derselben Stelle und die Fäden neigen sich nur abwechselnd nach vorn und nach hinten über. Bei sehr geringer Tiefe behalten sie dauernd die lothrechte Stellung bei, und bewegen sich gleichmäfsig in ihrer ganzen Höhe hin und her. Bis zu welcher Höhe diese letzte Bewegung noch eintreten kann, lässt sich im Allgemeinen nicht angeben. Gewöhnlich nennt man diejenigen Wellen, welche man in tiefern Gewässern beobachtet, schwingende und diejenigen im flachen Wasser, fortschreitende. Die letzte Benennung ist wohl nicht passend, da auch jene Wellen eben so

wie diese augenscheinlich fortschreiten. Scott Russel hat über die letztern, wie bereits erwähnt, vielfache Beobachtungen angestellt und ist der Ansicht, dass sie auch in Schiffahrts-Canälen von 5 bis 6 Fuss Tiefe noch vorkommen. Als eine besondere Eigenthümlichkeit derselben erwähnt er, dafs sie bei einmaliger Erregung immer nur einzeln auftreten. Dieses bestätigt auch Darcy, der hinter ihnen, eben so wie vor ihnen, nur ruhiges Wasser sah, so dass sie keine Spur ihres Vorüberganges zurückliefsen.

Demnächst sagt Scott Russel, ohne jedoch durch Mittheilung von Thatsachen es zu beweisen, dafs in diesen Wellen die horizontalen Wege der sämmtlichen übereinander liegenden Wassertheilchen gleich grofs sind. Es werden von demselben zwei Beobachtungen angeführt, die bei Wassertiefen von 3 und $5^1/_2$ Fufs angestellt wurden, doch ist die Bezeichnung der Tiefe wieder mangelhaft. Die beobachteten Geschwindigkeiten fallen auch hier zwischen die Werthe, die sich aus den Ausdrücken $\sqrt{2gp}$ und $\sqrt{3gp}$ ergeben. Interessant ist hierbei aber die Art der Erregung der Wellen. Ein Schnellboot, von Pferden in starkem Trabe gezogen, bildete nämlich die Welle und wenn das Boot plötzlich angehalten wurde, so setzte die Welle allein ihren Weg weiter fort. Scott Russel verfolgte sie einmal eine Englische Meile weit, ehe sie so niedrig wurde, dafs sie nicht mehr deutlich erkannt werden konnte. Besonders wichtig ist die Beobachtung, dafs die Geschwindigkeit des Bootes auf die der Wellen keinen Einflufs hatte. Das Boot wurde nämlich mit den sehr verschiedenen Geschwindigkeiten von 3 bis 10 Englischen Meilen in der Stunde gezogen, und dennoch durchlief die Welle einen dahinter abgesteckten Raum von 700 Fufs Länge jedesmal in $61^1/_2$ bis $62^1/_2$ Secunden. Der geringe Unterschied von 1 Secunde war aber nur zufällig, denn es traf sich sogar, dafs gerade bei der gröfsten und der kleinsten Geschwindigkeit des Bootes die Zwischenzeit dieselbe war.

Wenn ein Fahrzeug mit einiger Geschwindigkeit durch das Wasser sich bewegt, so veranlafst der Stofs gegen das letztere eine Erhebung des Wassers, die man vor dem Buge der Schiffe und Bote deutlich sehn kann. Wäre ein solcher Stofs nur momentan, so würde der Aufstau rings umher gleichmäfsig wirken, und soweit das Schiff dieses nicht verhindert, würde man, wie beim

Niederfallen eines Steins in das Wasser, die concentrischen Wellenringe entstehn sehn. Indem das Schiff aber weitergeht und die davor entstehende Welle überholt, so kann die Anschwellung nur seitwärts wirken, und auch hier gestaltet sich die Erscheinung ganz anders, da auf die Erhebung keine Vertiefung folgt, vielmehr die Erhebung ohne Unterbrechung vom Buge aus nach beiden Seiten sich dauernd fortsetzt. In dieser Weise bildet sich an jeder Seite des Schiffs ein Wellenkamm, der nach Maafsgabe der Geschwindigkeit des Schiffs mehr oder weniger schräge gegen die Richtung desselben gekehrt ist. Diese Kämme, die durch immer neue Impulse erhalten werden, folgen dem Schiff und bewegen sich daher mit derselben Geschwindigkeit, wie dieses. Sobald aber das Schiff angehalten wird, so wirken sie wie jede andre Erhebung des Wassers und ihr Druck trifft nicht nur die obern, sondern auch die weiter abwärts liegenden Wassertheilchen, und so ist es erklärlich, dafs die Fortsetzung jener Welle sich wesentlich verändert und die der Tiefe entsprechende Geschwindigkeit annimmt. Dabei verschwinden auch die zwei oder drei secundären Wellen, die man, so lange das Schiff noch in Bewegung war, der ersten gröfsren folgen sah.

Es ist nunmehr zu untersuchen, ob diejenige Wellenbewegung, welche bei unendlicher Tiefe sich vollständig begründet, die aber nach den Beobachtungen auch bei gröfserer endlicher Tiefe wirklich eintritt, vielleicht in die zweite Art der Wellenbewegung übergehn kann. In diesem Fall würde der aufrecht stehende Wasserfaden im untern Theile, ohne die lothrechte Stellung aufzugeben, sich hin und her bewegen, weiter aufwärts aber vor und zurück sich überneigen. Dabei dürfte es kaum Bedenken erregen, wenn dieser Anschlufs der einen Bewegung in die andre sich auch nicht in aller Strenge verfolgen, sondern nur annähernd nachweisen liefse. Man darf nämlich voraussetzen, dafs die lebendige Kraft, welche der Oberfläche des Wassers dauernd mitgetheilt wird, hinreichend ist, um geringe Differenzen auszugleichen. Aufserdem aber darf man auch nicht unbeachtet lassen, dafs die gefundenen Gesetze der Wellenbewegung bei sehr geringen Tiefen überhaupt nur als annähernd richtig anzusehn sind.

Wenn nun die letzte Wellenbewegung sich soweit aufwärts

fortsetzt, bis die Bahn gleiche horizontale und vertikale Durchmesser hat, sich also dem Kreise nähert, so ergaben sich für die Länge der Welle und für die absoluten und Angular-Geschwindigkeiten der Wassertheilchen, die solche Bahnen durchlaufen, die Näherungswerthe

$$\lambda = 2 p \pi$$

$$v = \beta \frac{c}{p}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{p}$$

Für Wellen auf unendlicher Tiefe waren dagegen die entsprechenden Werthe

$$\lambda = 2 r \pi$$

$$v = \varrho \frac{c}{r}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

Die grofse Uebereinstimmung dieser Ausdrücke leuchtet ein. Der Halbmesser ϱ kann alle Werthe zwischen r und 0 annehmen. In einer gewissen Tiefe ist er also auch gleich β, oder dem Radius derjenigen Bahnen, welche die Wassertheilchen in der obern Schicht des untern Systems durchlaufen. Wenn die Höhe dieser Uebergangsschicht über dem Boden oder p, dem Radius r gleich ist, von dem bei unendlich tiefem Wasser die Wellenlänge und die Geschwindigkeit der Welle abhängt, so stimmen diese Ausdrücke überein. Das wesentlichste Bedenken, welches sich dieser Auffassung entgegenstellt, bezieht sich augenscheinlich auf die Geschwindigkeit der Wellen, die für beide Systeme in dem Verhältnisse von

$$\sqrt{2} : \sqrt{3} = 9 : 11$$

verschieden sein würde. Nach allen Beobachtungen ist indessen in der Wirklichkeit der Unterschied schon geringer, und scheint sich etwa auf 10 Prozent zu reduciren, insofern die starke Reibung über dem Boden den Fufs der Wasserfäden zurückhält.

In den meisten Fällen, wie sie sich in der Natur darstellen, ist überdies der Radius der Bahnen in dieser Uebergangsschicht sehr klein, die Abweichung kann daher auf die Bewegung im Ganzen wenig Einflufs haben und die geringen Differenzen in der

absoluten Geschwindigkeit der betreffenden Wassertheilchen werden durch die starke Bewegung der obern Schichten leicht ausgeglichen. Endlich mufs man auch darauf Rücksicht nehmen, dafs die Wellenbewegung sich erfahrungsmäfsig niemals ganz regelmäfsig gestaltet, und es wäre möglich, dafs dieses vielleicht theilweise auch davon herrührt, dafs jener Uebergang mit manchen Störungen verbunden ist.

Bezeichnet man nun den Radius der Bahnen in der Uebergangsschicht mit β, und denjenigen in der Oberfläche des Wassers mit ϱ, während r nicht nur wie früher der Radius der kreisförmigen Bahn ist, die durch ihren Umfang die Wellenlänge bestimmt, sondern zugleich die Höhe der Uebergangsschicht über dem Boden des Bassins ausdrückt, so liegt der Mittelpunkt des Kreises, der mit β beschrieben ist, in der Tiefe

$$r \,.\, \log.\,\text{nat.}\, \frac{r}{\beta}$$

unter dem Kreise, der mit dem Radius r die volle Cycloide darstellt. Die Uebergangsschicht befindet sich also im lothrechten Abstande von der Oberfläche

$$r\left(\log.\,\text{nat.}\, \frac{r}{\beta} - \log.\,\text{nat.}\, \frac{r}{\varrho}\right)$$

$$= r \log.\,\text{nat.}\, \frac{\varrho}{\beta}$$

und zugleich liegt sie in der Höhe r über dem Grunde, daher ist die ganze Wassertiefe

$$p = r\left(1 + \log.\,\text{nat.}\, \frac{\varrho}{\beta}\right)$$

folglich
$$e^{\frac{p-r}{r}} = \frac{\varrho}{\beta}$$

oder
$$e^{1-\frac{p}{r}} = \frac{\beta}{\varrho}$$

Ist die Wassertiefe und zugleich die Wellenlänge, also auch r bekannt, so ist dadurch schon das Verhältnifs der Radien ϱ und β gegeben. Ihre absoluten Werthe kennt man indessen nicht, und diese hängen wohl von der dem Wasser mitgetheilten lebendigen Kraft ab. Letztere steht unzweifelhaft mit der Geschwindigkeit der Wellen in einer gewissen Beziehung, also auch mit r.

Hiernach dürfte sich die Voraussetzung rechtfertigen, dafs die dem Wasser mitgetheilte Bewegung sich so gestaltet, dafs die lebendige Kraft vergleichungsweise zur Reibung ein Maximum wird. Die Reibung ist indessen zweifach, nämlich einmal entsteht sie durch das Verschieben der Wasserfäden gegen einander, und sodann durch die Bewegung, welche der Fufs jedes Fadens auf dem Boden macht. Diese letzte Reibung ist gänzlich unbekannt, man kann sie daher nicht in Rechnung stellen, sie dürfte aber gegen die erste auch sehr geringe sein, weil der Weg, den der Fufs des Fadens durchläuft, nur klein, auch die Geschwindigkeit nicht grofs ist.

Die lebendige Kraft, wie die Reibung und zwar beides in der Ausdehnung einer Wellenlänge für die Wellenbewegung in unendlicher Tiefe ist schon früher angegeben. Bei sehr geringer Tiefe oder für den Fall, dafs die Wasserfäden ihre lothrechte Stellung beibehalten, findet man aber, wie ich in dem oben erwähnten academischen Vortrage entwickelt habe,

die lebendige Kraft $L = {}^4/_3\, \beta^2 c^2 \pi$

und die Reibung $R = 2\, k\, c\, \beta$

Diese beiden letzten Ausdrücke gelten wieder für eine Wellenlänge und für die Tiefe vom Boden aufwärts bis zu derjenigen Schicht, wo die Bahnen gleiche horizontale und vertikale Durchmesser haben.

Hieraus ergeben sich die lebendigen Kräfte und die Reibungen für die ganze Wassermasse. Der einfacheren Bezeichnung wegen sei

$$\frac{\varrho}{r} = \varepsilon$$

und

$$\frac{\beta}{\varrho} = n$$

also

$$\frac{\beta}{r} = \varepsilon n$$

Alsdann hat man die Reibung und die lebendige Kraft

$$R = {}^4/_9\, k\, c\, r\, (\varepsilon^3 - n^3 \varepsilon^3 + {}^9/_2\, n\, \varepsilon)$$

und

$$L = c^2 r^2 \pi\, (\varepsilon^2 + {}^1/_3\, n^2 \varepsilon^2)$$

folglich

$$\frac{R}{L} = \frac{2k}{3 c r \pi} \cdot \frac{2(1 - n^3)\varepsilon^2 + 9n}{(3 + n^2)\varepsilon}$$

Differenzirt man diesen Ausdruck in Beziehung auf ε und setzt alsdann das Differenzial gleich Null, um das Minimum des Werthes zu finden, so erhält man

$$\varepsilon = 3 \sqrt{\frac{n}{2\,(1-n^3)}}$$

oder wenn man $\frac{\varrho}{r}$ für ε schreibt,

$$\varrho = \frac{3r}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{n}{1-n^3}}$$

n ist aber bereits bekannt, nämlich

$$n = e^{1 - \frac{p}{r}}$$

Man findet endlich noch

$$\beta = \varrho \,.\, e^{1 - \frac{p}{r}}$$

Um die Rechnung nach diesen Formeln zu erleichtern, habe ich der mehrfach erwähnten academischen Abhandlung zwei Tabellen beigefügt, von denen die erste für die verschiedenen Werthe von $\frac{r}{p}$ die entsprechenden Werthe von $\frac{\varrho}{p}$ und $\frac{\beta}{p}$ enthält. In der zweiten dagegen ist $\frac{\varrho}{p}$ als Argument angenommen und die Tabelle giebt die entsprechenden Werthe von $\frac{r}{p}$ und $\frac{\beta}{p}$ an.

Die mittlere Wassertiefe der Ostsee mifst vielleicht 35 Faden, also

$$p = 210 \text{ Fufs.}$$

Wenn sich auf derselben Wellen von 6 Fufs Höhe bilden, so ist

$$\varrho = 3 \text{ Fufs}$$

also $$\frac{\varrho}{p} = 0{,}01430$$

Hieraus ergiebt sich durch unmittelbare Rechnung, oder nach jener Tabelle

$$\frac{r}{p} = 0{,}14077$$

und $$\frac{\beta}{p} = 0{,}000032$$

Die Uebergangsschicht liegt sonach über dem Boden in der Höhe

$$r = 29{,}562 \text{ Fufs}$$

dagegen ist $$\beta = 0{,}00672 \text{ Fufs}$$

oder noch nicht eine Linie. Der Weg, den der Fufs des Wasser-

fadens durchläuft, mifst also noch nicht 2 Linien. Aufserdem findet man

$$\lambda = 185{,}74 \text{ Fufs}$$
$$c = 30{,}408 \text{ Fufs}$$
und
$$\tau = 6{,}110 \text{ Secunden.}$$

Die bereits erwähnten Beobachtungen, die in der Bai von Plymouth angestellt sind, schliefsen sich an diese Rechnung nicht an, und dieses rührt ohne Zweifel davon her, dafs die Wellen auf der geringen Tiefe, wo sie gemessen wurden, nicht entstanden, vielmehr aus tieferm Wasser hier eingelaufen waren. Ganz dasselbe war auch bei einer der in der Nähe von Swinemünde im frischen Haff gemachten Messung der Fall. Letztere schliefst sich den vorstehenden Gesetzen jedoch an, wenn die Tiefe, die daselbst nur 14 Fufs betrug, um die Hälfte vergröfsert wird. Die beobachteten Wellen liefen bei dem südlichen Winde aber auch in der That von bedeutend tieferen Wasserflächen hier auf.

Zwei andere Beobachtungen, die der Lootsen-Commandeur Knoop anstellte, stimmen dagegen mit den vorstehenden Gesetzen sehr gut überein. In der ersten war

$$p = 18 \text{ Fufs}$$
$$\varrho = 0{,}875 \text{ Fufs}$$
$$c = 10{,}309 \text{ Fufs.}$$

Hieraus ergiebt sich

$$r = 3{,}3994$$
folglich
$$\frac{r}{p} = 0{,}1888$$
und daraus findet man
$$\frac{\varrho}{p} = 0{,}0468$$
oder
$$\varrho = 0{,}8428$$

also sehr nahe übereinstimmend mit der beobachteten durchschnittlichen halben Wellenhöhe. Endlich findet man noch

$$\beta = 0{,}0119 \text{ Fufs oder } 1\,{}^3/_4 \text{ Linien.}$$

Die zweite Messung wurde an einer Stelle gemacht, wo die Tiefe bedeutend gröfser war.

$$p = 27 \text{ Fufs}$$
$$c = 12{,}121 \text{ Fufs}$$
$$\varrho = 1 \text{ Fufs.}$$

Man findet aus dem Werthe für c

$$r = 4{,}6993$$

folglich
$$\frac{r}{p} = 0{,}1740$$

und daraus
$$\frac{\varrho}{p} = 0{,}0355$$

daher
$$\varrho = 0{,}9585.$$

Schliefslich mag noch erwähnt werden, dafs ϱ nie gröfser sein kann als r, weil sonst die Wassertheilchen sich durchdringen müfsten. Wenn nun ϱ den äufsersten Werth, nämlich r erreicht hat, so wird in dem obigen Ausdruck für s

$$1 = 3\sqrt{\frac{n}{2(1-n^2)}}$$

und hieraus ergiebt sich

$$n = 0{,}21985 = \frac{\beta}{\varrho} = \frac{\beta}{r}$$

woraus man wieder findet

$$\frac{r}{p} = \frac{\varrho}{p} = 0{,}39765$$

und
$$\frac{\beta}{p} = 0{,}08743$$

Hieraus folgt, dafs auf Wasserflächen von constanter Tiefe die ganze Wellenhöhe äufsersten Falles nur $^4/_5$ der Wassertiefe betragen kann, und wenn das vortheilhafteste Verhältnifs zwischen der lebendigen Kraft und der Reibung sich darstellen soll, so ist der Weg, den der Fufs des Wasserfadens auf dem Boden durchläuft, nicht gröfser, als der zwölfte Theil der Wassertiefe. Bei meinen Beobachtungen wurde diese letzte Bedingung augenscheinlich nicht erfüllt, weil die Bewegung, die ich der Scheibe gab und geben mufste, um höhere Wellen darzustellen, viel gröfser war. Die Resultate dieser Beobachtungen gehören daher nicht zu dem hier untersuchten Fall, der sich auf das gleichzeitige Auftreten beider Wellensysteme bezieht. Sie zeigen die Erscheinung nur in der Art, wie sie unterhalb der Uebergangsschicht vorgeht. Die Wellenperiode maafs bei meinen Beobachtungen jedesmal ungefähr 1 Secunde, wenigstens niemals bedeutend weniger. Die Gesetze, welche für unendliche Wassertiefen oder für die oberhalb der Uebergangsschicht gebildeten Wellen gelten, ergeben nun für $\tau = 1$

$$r = \frac{g}{2\pi^2} = 9{,}5 \text{ Zoll}$$

Der Wasserstand in der Rinne, der äufsersten Falls nur $3\,^1/_2$ Zoll betrug, hätte also die Höhe von mehr als $9\,^1/_2$ Zoll haben müssen, um zugleich die erste Art der Wellenbewegung oder das Ueberneigen der obern Theile der Wasserfäden zu zeigen.

§ 5.

Wellen auf ansteigendem Grunde.

Die Schwierigkeiten, denen man schon in der Untersuchung der Wellenbewegung bei endlicher, aber constanter Tiefe begegnet, vergröfsern sich in hohem Grade, wenn man zu denjenigen Wellen übergeht, die gegen Untiefen und gegen die Ufer laufen. Die Kenntnifs der Gesetze, welche die Bewegung und Wirkung dieser Wellen bedingen, ist indessen beim See- und Hafenbau besonders wichtig. Es kommt also darauf an, die Erfahrungen, die über sie gemacht sind, zu sammeln, und soweit es geschehn kann, auch zu erklären.

In der Nähe der Ufer oder auf den Untiefen vor denselben bilden sich niemals neue Wellen von bedeutender Gröfse, weil es hier an den dazu erforderlichen Kräften fehlt. Die Wellen, die man auflaufen und brechen sieht, haben ihren Ursprung in der offnen See. Von dort aus setzen sich die obern Scheitel vermöge des Drucks, den sie auf die nächsten Wasserfäden ausüben, über diejenigen Flächen fort, die weniger tief unter Wasser und zum Theil sogar über Wasser liegen. Das Letzte geschieht namentlich auf dem Strande, oder der flachen Sandablagerung, die sich nicht nur vor niedrigen, sondern häufig selbst vor hohen Ufern hinzieht.

Indem die einzelnen Wellen in der offnen See entstehn und ihre Periode den dortigen Verhältnissen entspricht, so ergiebt sich, dafs diese Wellen bei ihrer Annäherung an das Ufer und beim Auflaufen auf den Strand auch in denselben Zwischenzeiten einander folgen müssen. Nach den früheren Untersuchungen war bei constanter und zwar geringer Wassertiefe die Periode der Wellen der Quadratwurzel ihrer Länge proportional. Dieses Gesetz verliert im vorliegenden Fall seine Gültigkeit. Indem die

Geschwindigkeit der Wellen sich vermindert, so rücken ihre Scheitel bei der gleichen Periode näher an einander, oder ihre Längen verkürzen sich. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Erscheinungen alsdann viel complicirter werden. Bei ihrer grofsen Wichtigkeit rechtfertigt sich indessen der Versuch, ihren Zusammenhang mit den obigen Gesetzen, wenn auch nur in einzelnen Beziehungen nachzuweisen.

Zunächst werde vorausgesetzt, dafs der Grund vor dem Ufer sich stufenförmig erhebt, und dafs jede Stufe solche Ausdehnung hat, dafs die Welle, während sie darüber läuft, diejenige Geschwindigkeit annimmt, welche der jedesmaligen constanten Tiefe entspricht. Auch mag vorausgesetzt werden, dafs die lebendige Kraft der Welle sich dabei nicht vermindert. Diese beiden Bedingungen genügen indessen noch nicht, um die nach und nach eintretenden Modificationen der Erscheinungen festzustellen, man mufs vielmehr noch die dritte Voraussetzung einführen, dafs dabei stets solche Wellen sich bilden, in welchen die Reibung der Wassertheilchen gegen einander vergleichungsweise zur lebendigen Kraft ein Minimum bleibt.

Unter Beibehaltung der früheren Bezeichnung hat man alsdann die Bedingungsgleichungen

$$\frac{\beta}{\varrho} = e^{1 - \frac{p}{r}} = n$$

$$L = 2 g \pi r \varrho^2 (1 + {}^1/_3\, n^2)$$

und

$$\varrho = \frac{3r}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{n}{1-n^3}}.$$

Indem nun, wie vorausgesetzt, L constant ist, so ist auch

$$r \varrho^2 (1 + {}^1/_3\, n^2) = K$$

constant, und man hat

$$r = \frac{K}{\varrho^2 (1 + {}^1/_3\, n^2)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\frac{1-n^3}{n}}.$$

Multiplicirt man $r \varrho^2$ mit ϱ und dividirt man auf beiden Seiten durch r, so ergiebt sich

$$\varrho^3 = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{K}{1 + {}^1/_3\, n^2} \cdot \sqrt{\frac{n}{1-n^3}} \quad \ldots A$$

Aus jener ersten Bedingungsgleichung erhält man aber auch noch

$$\frac{p}{r} = 1 - \text{log. nat. } n \quad \ldots\ldots B$$

Diese beiden Gleichungen enthalten, wenn man von n und K auf deren Werthe zurückgeht, vier verschiedene Bestimmungsstücke, nämlich p, r, ϱ und β. Kennt man also zwei derselben, so lassen sich die beiden andern daraus herleiten. Die Wassertiefe p und die halbe Wellenhöhe ϱ sind am leichtesten zu messen. Diese mögen bekannt sein. Die andern kann man alsdann nicht direct, sondern nur versuchsweise finden. Man wähle für n willkührlich zwei Werthe, führe diese in die Gleichung B ein, und berechne die r. Aus diesen Werthen von r und den angenommenen n berechne man die K, und versuche, ob diese nach A die gegebenen ϱ darstellen. Aus den in beiden Fällen bleibenden Differenzen ersieht man ungefähr, wie grofs n anzunehmen, und eine nochmalige Rechnung führt alsdann zu einer schärferen Bestimmung, wodurch endlich n und r genau genug bekannt werden. Die β ergeben sich alsdann unmittelbar aus n, und c, λ und τ sind aus r herzuleiten, nämlich

$$c = \sqrt{2gr}$$

$$\lambda = 2\pi r$$

und

$$\tau = \frac{\lambda}{c}$$

Beispielsweise werde die am Schluss des vorigen Paragraphen mitgetheilte Beobachtung zum Grunde gelegt, wonach

p oder die Wassertiefe gleich 27 Fufs und

ϱ oder die halbe Wellenhöhe gleich 1 Fufs ist.

Hieraus findet man nach den in § 4 entwickelten Ausdrücken

r oder den Radius desjenigen Kreises, dessen Umfang der Wellenlänge gleich ist, gleich 4,7884 Fufs,

β oder die Hälfte des Weges, den der verticale Theil des Wasserfadens hin und her durchläuft, gleich 0,00967 Fufs,

c oder die Geschwindigkeit der Welle 12,235 Fufs,

λ oder die Länge der Welle 30,086 Fufs,

τ oder die Periode der Welle 2,4591 Secunden,

$n = \frac{\beta}{\varrho}$ ist gleich 0,00967 und endlich

K gleich 4,7886.

Um die Aenderungen darzustellen, welche diese Welle erleidet, wenn sie nach und nach auf Wasserflächen von geringerer Tiefe tritt, so sind in der umstehenden Tabelle für die Grösse n

verschiedene Werthe angenommen, und unter der Voraussetzung, dafs die lebendige Kraft, also auch K, unverändert bleibt, ergeben sich daraus die übrigen Bestimmungsstücke.

n	ϱ	β	r	p	c	λ	τ
0,01	1,005	0,010	4,74	26,56	12,17	29,77	2,45
0,02	1,128	0,022	3,76	18,48	10,84	23,63	2,18
0,03	1,207	0,036	3,28	14,80	10,13	20,64	2,04
0,04	1,266	0,051	2,98	12,59	9,66	18,75	1,94
0,05	1,314	0,066	2,77	11,07	9,31	17,41	1,87
0,06	1,355	0,081	2,61	9,97	9,04	16,42	1,81
0,07	1,390	0,097	2,48	9,08	8,81	15,58	1,77
0,08	1,421	0,114	2,37	8,37	8,61	14,91	1,73
0,09	1,449	0,130	2,28	7,78	8,45	14,35	1,70
0,10	1,474	0,147	2,20	7,25	8,29	13,80	1,66
0,15	1,576	0,236	1,91	5,55	7,74	12,03	1,55
0,20	1,651	0,330	1,73	4,52	7,36	10,89	1,48
0,25	1,712	0,428	1,60	3,82	7,06	10,06	1,42

Aus dieser Zusammenstellung sieht man, welche Veränderungen die Welle erleidet, wenn sie eine Stufe ersteigt, und sodann wieder über horizontalen Grund läuft. Man bemerkt zunächst, dafs bei abnehmender Wassertiefe die Wellenhöhe sich vergröfsert. Dieses bestätigt die Erfahrung. Sodann bemerkt man, dafs die Werthe von β, also die Schwingungen der untern, oder der vertikalen Theile der Wasserfäden sich gleichfalls vergröfsern. Dieses mufs auch unbedingt geschehn, weil bei einer gewissen Tiefe das obere Wellensystem ganz verschwindet oder der ganze Faden seine lothrechte Stellung beibehält. In diesem Fall wird β gleich ϱ.

Ferner vermindert sich r sehr bedeutend und hieraus ergiebt sich unmittelbar, dafs auch die Geschwindigkeit und die Länge der Wellen sich vermindern mufs. Eine Veränderung der Periode tritt indessen nicht ein, weil man, wie bereits erwähnt, nur diejenigen Wellenscheitel sieht, die aus der offenen See kommen, die also in denselben Zwischenzeiten, in welchen sie dort auf einander folgen, auch auf den Strand auflaufen. Wegen der verminderten Geschwindigkeit treten aber diese Scheitel näher an einander.

Wollte man wegen der gleichen Zwischenzeiten die Bedingung einführen, dafs die Wellen auf den verschiedenen Wassertiefen

dieselbe Periode oder denselben Werth von τ beibehalten und diesem entsprechend sich ausbilden, so würde hieraus unmittelbar folgen, dafs auch die Geschwindigkeiten und die Längen der Wellen, also zugleich die Abstände je zweier Scheitel dieselben bleiben. Dieses ist beim Auflaufen der Wellen auf Untiefen oder auf den Strand augenscheinlich nicht der Fall. Auch in Beziehung auf die Wellenhöhe entspricht diese Voraussetzung nicht der wirklichen Erscheinung. Wenn man nämlich die Bedingung einführt, dafs die lebendige Kraft und die Periode, also K und τ, folglich auch r, unverändert bleiben, so ergiebt die Rechnung, dafs bei Abnahme der Wassertiefe p, auch ϱ oder die Wellenhöhe sich verkleinert, während die Erfahrung das Gegentheil zeigt.

Unverkennbar verliert die Erscheinung bei dem Uebertritt einer Welle über eine Stufe viel von ihrer bisherigen Regelmäfsigkeit. Der hin und herschwingende Fufs des Wasserfadens wird in seiner Bewegung gehindert. Beim Fortgange in der Richtung der Welle erfährt er einen verstärkten Druck, und verlängert sich daher, beim Rückgange mufs dagegen Wasser von oben herabgezogen werden, um den leeren Raum zu füllen. Kommt noch dazu, dass die Periode der Welle auf dem flacheren Wasser kürzer sein müfste, aber dennoch die Erscheinung in gleichen Intervallen, wie früher, sich wiederholt, so überzeugt man sich, dafs sie zu complicirt ist, als dafs sie noch auf einfache Gesetze zurückgeführt werden könnte.

Dergleichen Stufen, wie hier vorausgesetzt wurden, kommen in Wirklichkeit nur selten vor. Gewöhnlich steigt der Grund mit gewisser Neigung an. Um die gefundenen Resultate auf diesen Fall anzuwenden, mufs man annehmen, dafs sehr niedrige Stufen einander sehr nahe liegen. Zum Theil erklären sich hierdurch auch die Erscheinungen, die man beim Anlaufen der Wellen gegen das Ufer bemerkt.

Sehr wichtig ist noch die Frage, wie weit eine Welle auflaufen kann, bevor die Brandung oder das Ueberstürzen des Wellenscheitels beginnt. So lange dieses nicht geschieht, kehren die Wasserfäden, ohne dafs ihr Zusammenhang unterbrochen wird, nach einer vollen Wellenperiode in die frühere Stellung nahe zurück. Dazu ist aber erforderlich, dafs das Durchflufsprofil im untern Wellenscheitel noch hinreichende Gröfse hat, damit die

zur Bildung der folgenden Welle erforderliche Wassermenge zurücktreten kann. Bei dieser Untersuchung darf man sich unbedenklich auf das in § 3 behandelte Wellensystem beschränken, das für mäfsige Tiefen gilt, in welchem die Wasserfäden in ihrer ganzen Höhe unter Beibehaltung der lothrechten Stellung nur hin- und herschwanken.

Die Welle bewegt sich, wenn die Tiefe dieselbe bleibt, unter Beibehaltung ihrer Form mit der constanten Geschwindigkeit c. Die Wassermenge, die sie braucht, um ihre vordere Böschung darzustellen, ist zum Theil von der Geschwindigkeit abhängig, womit die einzelnen Wasserfäden sich horizontal bewegen. Diese Geschwindigkeit ist aber vergleichungsweise zu derjenigen der Welle sehr klein. Sie ist im obern Scheitel positiv, im untern negativ und in der Mitte zwischen beiden gleich Null. Wenn es daher nur auf die Bestimmung der zur vorderen Böschung erforderlichen Wassermasse ankommt, so heben sich die verschiedenen Geschwindigkeiten der betreffenden Wasserfäden annähernd auf, und es genügt, diese Wassermenge allein aus der Bewegung der Welle herzuleiten. In einer Secunde durchläuft die Welle den Weg c, und da sie ihre Form beibehält, so thut dieses auch jeder einzelne Punkt der Wellenlinie. Setzt man die Breite der Welle gleich 1, so mufs in jeder Secunde eine Wassermenge zufliefsen, die einer Fläche gleich ist, deren Breite von oben bis unten c, und deren Höhe gleich der ganzen Wellenhöhe oder 2β ist. Die Wassermenge, welche durch das kleinste Profil tritt, ist daher unter Beibehaltung der in § 3 gewählten Bezeichnungen

$$2\beta c = 2 c p \varrho$$

Das Profil hat die Breite 1 und seine Höhe ist

$$p - \beta + \gamma$$

Indem es darauf ankommt, das Verhältnifs der Tiefe zur Wellenhöhe darzustellen, so empfiehlt es sich, alle Gröfsen durch

$$\varrho = \frac{\beta}{p}$$

auszudrücken. Unter Einführung der oben für γ und σ gefundenen Werthe verändert sich der Ausdruck für das Profil in

$$p(1 - \varrho + {}^1/_3\, \varrho^2)$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher der untere Scheitel der Wellenlinie sich gegen das Wasser bewegt, ergiebt sich am

deutlichsten, wenn man die Welle als eine stehende ansieht. Die gesammte Wassermasse wird alsdann in Bewegung gedacht und zwar so, als sie mit der Geschwindigkeit c der Welle entgegen strömt. In derselben Richtung bewegen sich aber auch die im untern Scheitel der Welle befindlichen Wasserfäden. Ihre Geschwindigkeit ist gleich v, also relativ

$$c + v$$

Legt man nun den obigen für die Angular-Geschwindigkeit $\frac{d\varphi}{dt}$ gefundenen Ausdruck zum Grunde und setzt, wie meine Beobachtungen für die Oberfläche der frisch erregten Welle ergeben, $\alpha = \beta$, so folgt für den untern Scheitel, wo $\varphi = \pi$

$$v = \frac{c\beta}{p} \cdot \frac{1 - \sigma}{1 - 3\sigma + 3\sigma^2}$$

oder

$$v = c\varrho \cdot \frac{1 - {}^1/_3\,\varrho}{1 - \varrho + {}^1/_3\,\varrho^2}$$

daher die ganze relative Geschwindigkeit

$$c + v = \frac{c}{1 - \varrho + {}^1/_3\,\varrho^2}$$

Diese Geschwindigkeit mufs an der gesuchten Grenze gleich sein der Wassermenge dividirt durch das Profil, also

$$\frac{2c\varrho}{1 - \varrho + {}^1/_3\,\varrho^2} = \frac{c}{1 - \varrho + {}^1/_3\,\varrho^2}$$

folglich

$$\varrho = {}^1/_2$$

oder

$$\beta = {}^1/_2\,p$$

Die regelmäfsige Wellenbewegung kann also nur erfolgen, wenn die Wassertiefe nicht kleiner ist, als die ganze Wellenhöhe. Es mufs aber daran erinnert werden, dafs am Schlusse von § 4 eine noch etwas engere Grenze gefunden wurde, nämlich

$$\beta = 0{,}4 \cdot p$$

Dabei war jedoch die Bedingung gestellt, dafs die Reibung vergleichungsweise zur lebendigen Kraft ein Minimum bleiben solle.

Wendet man das hier gefundene Resultat wieder auf jenes in § 4 gewählte Beispiel an, indem die lebendige Kraft dieser Wellen

$$L = {}^4/_3\,\beta^2 c^2 \pi$$

oder genauer

$$L = {}^1/_3\,\beta^2 c^2 \pi\,(4 + 5 \cdot \sigma^2)$$

dem für dieses Beispiel gefundenen Zahlenwerthe

$$L = 2g\pi \,.\, 4{,}7886$$

gleich gesetzt wird, und aufserdem für β und σ die betreffenden Werthe, nämlich

$$\beta = \tfrac{1}{2}\, p$$

und

$$\sigma = \tfrac{1}{3}\,\beta = \tfrac{1}{6}\, p$$

eingeführt werden, so findet man

$$p = 2{,}031 \text{ Fufs.}$$

Hiernach würde die Welle brechen, sobald sie einen Grund erreicht, über welchem die Tiefe bei stehendem Wasser eben so grofs ist, wie ihre ganze Höhe. Dieses Resultat ist dasselbe, welches Scott Russel aus Beobachtungen herleitete.

Auch über tiefem Wasser und in offener See bemerkt man oft, und namentlich beim Beginn des Sturmes ein gewisses Brechen der Wellen. Dieselben bilden sich nämlich nicht plötzlich aus, vielmehr treten sie Anfangs in geringer Länge, also nur mit mäfsiger Geschwindigkeit auf. Der Unterschied ihrer Geschwindigkeit und der der Luft ist alsdann besonders grofs, und deshalb die Wirkung der letztern auf sie am kräftigsten. Die obern Scheitel werden stark nach vorn getrieben, und stürzen über oder brechen. Man sieht deshalb in solcher Zeit überall diese Schaumbildungen oder sogenannten Köpfe. In der heifsen Zone, wo die heftigsten Orkane oft plötzlich auftreten, werden die Köpfe der kleinen Wellen vom Sturm im ersten Entstehn vollständig abgerissen, und eine hohe Schicht von Wassertropfen wird über das Meer fortgetrieben, während eine merkliche Wellenbewegung noch gar nicht eintritt.

Noch mufs in Betreff derjenigen Wellen, die von der hohen See her gegen das Ufer laufen, darauf aufmerksam gemacht werden, dafs nicht nur die abnehmende Tiefe, sondern auch das rücklaufende Wasser die Brandung befördert. Die eigentliche Wellenbewegung, wobei die lothrechten Wasserfäden hin und hergehn, oder sich überneigen, hört nämlich auf sehr flachem Wasser vollständig auf, indem von der frühern Welle nur der obere Scheitel übrig geblieben ist, dessen ganze Masse mit grofser Geschwindigkeit dem Strande sich nähert, und schliesslich darauf geworfen wird. Dieses Wasser folgt nunmehr allein der Einwirkung der Schwere. Grofsentheils versinkt es in dem Sande

oder dem Kiese, der den Strand bildet, zum Theil fliefst es aber sichtbar über diesen fort nach der See. Auch auf dem ersten Wege gelangt es hierher und erhöht den Wasserstand, wodurch ein weiterer Abflufs nach der See oder eine Rückströmung, der sogenannte Sog (§ 1), veranlafst wird.

Es leuchtet ein, dafs diese Rückströmung, die jedesmal der Bewegung der Wellen entgegengekehrt ist, auf diese wesentlich einwirken mufs. Indem der Fufs jedes Wasserfadens, der die Welle bildet, zurückgestofsen wird, so nimmt der vordere Schenkel der letztern eine steilere, und der hintere eine flachere Neigung an, und hierdurch wird wieder das Ueberschlagen des Kammes oder das Brechen der Welle beschleunigt.

§ 6.

Wirkungen der Wellen.

Zunächst fragt es sich, unter welchen Verhältnissen die höchsten Wellen, also auch der stärkste Wellenschlag eintritt. Die Stärke des Windes ist dabei unbedingt von wesentlichem Einflufs, aber in gleichem, und sogar in höherem Grade kommt auch die Ausdehnung der Wasserfläche in der Richtung des Windes in Betracht. Der Westwind ist auf der nördlichen Hemisphäre der vorherrschende und die heftigsten Stürme und Orcane treten bei diesem ein. Dennoch giebt sich überall zu erkennen, welchen grofsen Einflufs die Ausdehnung der davor liegenden Wasserfläche hat. So sind bei Lorient die südwestlichen Stürme die heftigsten, weil sie von der Küste Süd-America's her über den Altlantischen Ocean streichen. Bei St. Jean de Luz dagegen, an der Bai von Biscaja, ohnfern der Spanischen Grenze, ist der Nord-West-Sturm der stärkste, weil hier der Ocean in der Richtung nach Grönland die gröfste Ausdehnung hat. Bei Swinemünde bleibt der Wellenschlag bei westlichen Winden sehr mäfsig, weil die Inseln Usedom und Rügen die Wasserfläche bald begrenzen. Dagegen streicht hier der Nord-Ost von dem Finnischen Meerbusen, bei Gottland und Bornholm vorbei etwa 100 Deutsche Meilen über das Wasser und verursacht daher den stärksten Seegang. In Memel ist bei westlichen Stürmen der Wellenschlag

am heftigsten, weil von hier aus in dieser Richtung die nächsten Ufer, nämlich die Schwedische Provinz Skaane und die Insel Rügen 60 und 70 Meilen entfernt sind. In Pillau findet ungefähr dasselbe statt, doch bemerkt man hier keine Schwächung des Wellenschlages, wenn der Wind aus einer mehr nördlichen Richtung nach Westen übergeht, und sich sogar etwas südlich wendet, wiewohl alsdann die vortretende Ecke von Rixhöft schon in Wirksamkeit treten könnte. Aber so lange kein vollständiger Abschluss erfolgt, schwächt sich die Welle nicht, wenn sie auch um eine Uferecke auf etwas gekrümmtem Wege vorübergehn mufs und eben so wenig geschieht dieses an kleinen einzelnen Inseln. Daher laufen die Wellen auch ungeschwächt in Buchten ein, deren Richtung von derjenigen des Windes schon bedeutend abweicht, und wenn die Bucht nach und nach immer schmaler wird, so nehmen die Wellen hier sogar eine noch gröfsere Höhe an.

Thomas Stevenson hat diesen Gegenstand sehr eingehend behandelt und Beobachtungen hierüber mitgetheilt *). Schon früher war er zu dem Resultat gelangt, dafs bei gleicher Windstärke die Höhe der Wellen der Quadratwurzel aus der Länge der bestrichenen Wasserfläche (in der Richtung des Windes) proportional sei **), und er fand später, wenn H die ganze Wellenhöhe in Englischen Fufsen, und D die Länge der Wasserfläche in Seemeilen oder in Viertel Deutschen Meilen bezeichnet, für Wellen bei heftigen Stürmen, oder für die höchsten Wellen

$$H = 1{,}5 \cdot \sqrt{D}$$

Einen etwas bessern Anschluss an die zum Grunde liegenden 23 Beobachtungen erreichte er noch, indem er

$$H = 2{,}5 + 1{,}5 \cdot \sqrt{D} - \sqrt[4]{D}$$

setzte. Die Summe der übrigbleibenden Fehlerquadrate beträgt im ersten Fall 51,81 und im zweiten 45,44. Der letzte Ausdruck verdient also den Vorzug, und zwar, wie der Vergleich mit den Beobachtungen zeigt, nicht allein für kleinere, sondern auch für gröfsere Werthe von D.

---

*) The design and construction of harbours. II. Ausgabe von 1874. pag. 22.

**) New Edinburgh Philosophical Journal. Vol. 53.

Indem aber bei Benutzung der einen Formel, wie der andern, die berechneten H für kleinere D zu klein, und für gröfsere D durchweg zu grofs ausfallen, so ist das Gesetz nicht passend, oder die Constanten sind nicht richtig gewählt. Ich legte daher den Ausdruck

$$H = n\,D^x$$

zum Grunde, und fand nach der Methode der kleinsten Quadrate aus jenen 23 Beobachtungen als wahrscheinlichste Werthe

$$n = 2{,}0443$$

und

$$x = 0{,}373$$

unter Benutzung dieses Factors und dieses Exponenten stellte sich die Summe der Fehlerquadrate nur auf 25,27.

Nach diesen Beobachtungen ist sonach die Wellenhöhe weit näher der Cubikwurzel, als der Quadratwurzel der Streichlinie proportional. Wählt man zur Erleichterung der Rechnung die Cubikwurzel, so ändert sich wieder der wahrscheinlichste Werth des Factors und man hat

$$H = 2{,}47 \,.\, \sqrt[3]{D}$$

Die Summe der Fehlerquadrate steigert sich alsdann auf 30,20 und der wahrscheinliche Fehler, der eben so oft überschritten wie nicht erreicht wird, beträgt $8\,{}^1/_2$ Zoll. In Rheinländischem Fufsmaafs hat man

$$H = 2{,}4 \,.\, \sqrt[3]{D}$$

wenn D wieder in Seemeilen ausgedrückt wird. Bei den zum Grunde liegenden Beobachtungen mifst D von 1 Seemeile aufwärts bis 165, oder bis 41 Deutsche Meilen. Ob für gröfsere Wasserflächen dieses Resultat noch gilt, ist nicht nachgewiesen. Es ist auch nicht anzunehmen, dafs vor Swinemünde bei starkem Nord-Ost Wellen von 18 Fufs Höhe sich bilden sollten, wie der letzte Ausdruck ergiebt, während nach Stevenson's erster Formel die Wellen daselbst sogar 30 Fufs hoch sein würden.

Wenn die Welle auf eine Untiefe tritt, so hebt sich zwar ihr oberer Scheitel, wie bereits erwähnt, sobald sie aber weiterhin wieder tieferes Wasser findet, so bemerkt man, dafs sie nicht mehr die frühere Höhe hat. Dazu kommt auch, dafs auf dem flachen Wasser ihre Geschwindigkeit sich mäfsigt, also die Wellen-

scheitel näher an einander rücken, und dadurch die frühere regelmäſsige Bewegung wesentlich gestört wird.

In ähnlicher Weise schwächen sich auch die Wellen, sobald sie einer stärkeren Strömung begegnen und namentlich einer solchen, die ihrer Bewegung entgegengekehrt ist. In diesem Fall treten die Kämme nicht nur näher an einander, sondern sie verändern auch wesentlich ihre Form, indem ihre vorderen Flächen sich steiler stellen, so daſs oft sogar die Scheitel darüber herabstürzen. Es entsteht hierdurch, ebenso wie auf den Untiefen, eine besonders unruhige Bewegung, die der Schiffer krauses Wasser nennt. Die erwähnten Erscheinungen erklären sich aber vollständig durch die obigen Untersuchungen.

Ferner ist zu erwähnen, daſs der Wellenschlag auch durch schwimmende Körper von einiger Ausdehnung geschwächt wird. Sehr auffallend äuſsern Eismassen, wenn sie auch nur aus kleinen Stücken bestehn, aber dicht neben einander liegen, diese Wirkung, wie man in der Ostsee häufig bemerken kann. Die Brandung hört darin jedesmal auf, aber auch die Dünung oder die lang ausgedehnten flachen Wellen verschwinden selbst bei heftigen Winden, wenn die Eisdecke etwa 100 Ruthen breit ist. Nach der obigen Auseinandersetzung sind in den Wellen, die sich auf gröſserer Tiefe bilden, besonders die Wassertheilchen der Oberfläche in starker Bewegung. In den obern Scheiteln der Wellen treten sie näher an einander, in den untern entfernen sie sich. Die Eisdecke verhindert diese Bewegung und schwächt oder hebt die Welle ganz auf. Dieselbe Wirkung äuſsern auch Segel oder Netze, die ausgebreitet auf dem Wasser schwimmen.

Hiermit hängt auch die Wirkung des Oels zusammen, auf die Franklin zuerst aufmerksam machte*). Derselbe beobachtete, daſs auf einem groſsen Teich die Wellenbewegung auf einer Fläche von mehreren Quadrat-Ellen plötzlich aufhörte, sobald er von dem dem Winde zugekehrten Ufer aus nur einen Theelöffel Oel ausgoſs. Der von ihm in offner See veranlaſste ähnliche Versuch hatte keinen Erfolg, doch muſs ich erwähnen, daſs im Anfange dieses Jahrhunderts die Pillauer Lootsen, wenn sie bei heftigem Seegange herausgingen, einen Oelkrug mitnahmen,

*) Weber's Wellenlehre. § 51 ff.

um bei der Rückfahrt das Seegatt, wo sich stets die heftigste Brandung bildet, sicher zu durchfahren. Die damaligen Lootsen-Böte waren zwar im Buge gehörig gewölbt und hoben sich gegen die anlaufenden Wellen, hinten waren sie aber mit flachen Spiegeln versehn, und die auf dem Rückwege sie überholenden Wellen schlugen über Bord. Um dieser Gefahr einigermaafsen zu begegnen, wurde kurz vor der Einfahrt in das Seegatt der Oelkrug zerschlagen, und der Inhalt desselben, der sich schnell über das Wasser verbreitete, soll das Brechen der Wellen für eine kurze Zeit verhindert haben.

Es ist bekannt, dafs Oel mit grofser Geschwindigkeit sich über die Oberfläche des Wassers verbreitet. Wenn man mit einer Feder, die durch Oel benetzt ist, das Wasser in einer Schale berührt, so bemerkt man, dafs die darauf sehwimmenden Staubflocken und andre sehr leichte Körper mit grofser Heftigkeit gegen den Rand getrieben werden. Wahrscheinlich bildet dieser überaus dünne Ueberzug eine festere Decke, welche wenigstens die Auflösung in Tropfen verhindert, vielleicht aber auch die beim Wellenschlage eintretende Zusammenziehung und Ausdehnung der Oberfläche erschwert. Nach Franklin soll dadurch auch die Einwirkung des Windes wesentlich geschwächt werden, indem die Luft an dem Oel weniger haftet, als an dem Wasser.

Vielfach hat man versucht, zum Schutz der Rheden, oder auch wohl einzelner Schiffe, den Wellenschlag durch grofse schwimmende Massen zu brechen. Auf Ersteres beziehn sich die schwimmenden Wellenbrecher, von denen später die Rede sein wird, die aber jedesmal sich nicht bewährt haben. Dagegen ist die Sicherung kleiner Fahrzeuge durch davor geankerte Flöfse wohl zuweilen geglückt, wie auch gröfsere Schiffe einigen Schutz gewähren, namentlich wenn die Wassertiefe nicht so grofs ist, dafs die Wellenbewegung darunter in voller Stärke sich fortsetzen kann.

Es mufs noch auf die Frage zurückgekommen werden, welche Höhe die Wellen überhaupt erreichen können, doch beschränke ich diese Frage hier allein auf die Wellen in tiefem Wasser, da von den Erhebungen beim Gegenstofs an feste Wände und beim Auflaufen auf flachere Ufer später Mittheilungen gemacht werden sollen. In § 1 wurde schon erwähnt, dafs ich bei Durchfahrung

des Biscayischen Meerbusens Wellen beobachtete, deren ganze Höhe vom untern Scheitel bis zum obern durchschnittlich $12\frac{1}{2}$ Fuſs maaſs, die aber zuweilen bis 18 Fuſs sich steigerte. Nach Stevenson erreichen die Wellen im Mittelländischen Meere die Höhe von 14 Fuſs. Am Vorgebirge der guten Hoffnung hat man Wellen von 20 Fuſs gesehn, und Scoresby schätzte sie bei einem sehr heftigen Orcan auf dem Atlantischen Ocean höher, als 30 Fuſs 3 Zoll. So hoch befand sich sein Auge über der Wasserfläche. Nicht selten rollten aber Wellen heran, die sich noch 13 Fuſs darüber erhoben, deren Höhe also 43 Fuſs maaſs.

Hiermit steht eine andre Frage in naher Beziehung, nämlich bis zu welcher Tiefe die Wellenbewegung sich abwärts erstreckt. In offner See fehlt es hierüber an allen Beobachtungen. Aus der Erfahrung, daſs bei heftigen Stürmen in der Nordsee bis zur Tiefe von 20 bis 30 Faden keine Fische mehr zu finden sind, schloſs R. Stevenson, daſs die starke Bewegung sich so tief erstrecken müsse. Dieses bestätigt Th. Stevenson nach den Beobachtungen am Eingange des Firth of Forth. Ferner hat man bemerkt, daſs auf Chesil-Bank, die 18 Faden unter Wasser liegt, das grobe Gerölle noch zuweilen in Bewegung gesetzt wird. Hiernach erklärt es sich, daſs höhere Wellen, wenn sie auf Untiefen treten, die 7 bis 8 Faden unter Wasser liegen, ihre Klarheit verlieren und durch den aufgenommenen Sand getrübt werden, wie Capitän Calver bemerkte.

Beim Corallen-Fischen, wie auch bei sonstigem Tauchen hat man nur bei mäſsigem Wellenschlage Erfahrungen gesammelt, nach diesen nimmt aber die Wellenbewegung schnell ab, und ist in der Tiefe von 4 bis 5 Faden kaum noch bemerkbar. Dieses erklärt sich vollständig nach den in § 2 aufgestellten Gesetzen. Th. Stevenson fand auch, daſs Steinschüttungen in der Tiefe von 15 Fuſs durch die Wellen nicht mehr bewegt werden.

Eine andre, bei dieser Gelegenheit bemerkte Erscheinung darf aber nicht unerwähnt bleiben. Der Seeboden, wenn er aus Sand oder aus feinem Kiese besteht, ist nämlich niemals ganz eben, sondern stets flach gefurcht, indem kleine wellenförmige Erhebungen und Vertiefungen ihn bedecken. Der Ingenieur Siau

giebt hierüber nähere Mittheilungen *). In den kleinen Hafen St. Gilles am Canal sollten nämlich Verbesserungen eingeführt werden. Bei dem klaren Wasser konnte man in der Tiefe von 20 Meter diese Furchen erkennen, die sich durch ihre verschiedene Färbung bemerklich machten. Eine sorgfältige Lothung ergab, dafs die Scheitel 1 bis $1^1/_2$ Fufs von einander entfernt und über den dazwischen liegenden Vertiefungen 3 bis 4 Zoll erhoben waren. In den Vertiefungen lagen die schweren Basaltkörner, in den Erhebungen der leichtere Kalksand. Indem die Lothe mit einer sehr dicken Schicht Seife bestrichen waren, liefsen sich diese Unebenheiten noch bis zur Tiefe von 188 Meter verfolgen, doch wurden die Wellenlängen immer kleiner. Letztere bezeichnen vielleicht die Wege, welche der Fufs des Wasserfadens durchläuft, während die Welle vorüber geht.

Vor den am offnen Meer belegenen Ufern befindet sich mit seltenen Ausnahmen der Strand oder ein niedriges Vorufer, das bei hohem Wasserstande und starkem Seegange unter Wasser tritt oder doch von den auflaufenden Wellen überfluthet wird. Dieser Strand besteht aus rein ausgewaschenem Sande oder aus feinerem oder gröberem Kies. Er fehlt aber da, wo steile Felswände bis zu grofser Tiefe herabreichen, und nach der Gestaltung der Küste weder die Wellen, noch die Meeresströmung solches Material herbeiführen können, um die Tiefe auszufüllen. Seeseitig schliefst sich an den Strand eine mehr oder weniger flach geneigte Böschung an, auf welche die Wellen auflaufen und brechen. Wenn man von einzelnen Pflanzen absieht, welche während des Sommers keimen und wachsen, fehlt hier jede Vegetation.

Indem die Wassermasse jeder gebrochenen Welle nach Maafsgabe ihrer Geschwindigkeit auf den Strand getrieben wird, so führt sie von der unter Wasser befindlichen Böschung Sand, Kies und selbst kleine Steine mit sich, doch treibt das aufgelaufene Wasser, indem es abfliefst, diese Massen grofsentheils wieder zurück. Vor hohen Kreideufern, wie bei Dover und auf der Insel Rügen, woselbst der Strand sich aus den in der Kreide eingesprengten Feuersteinen gebildet hat, giebt das Hin- und Herrollen der letztern schon bei mäfsigem Wellenschlage sich durch das

*) Annales des ponts et chaussées 1843. I. p. 126.

Gehör sehr auffallend zu erkennen, aber auch beim Sande bemerkt man, dafs jede Welle solchen aufwirft, dafs derselbe aber nur momentan liegen bleibt, und von dem zurückfliefsenden Wasser wieder der See zugeführt wird.

In dieser Weise ist die Oberfläche des Strandes, soweit die Wellen auflaufen, in fortwährender Bewegung, aber dennoch tritt dabei keine Formveränderung ein, so lange die Neigung recht flach ist. Steigt dagegen der Strand an einer Stelle steiler an, so kann sich hier kein Material ablagern, aber das rücklaufende Wasser reifst den daselbst liegenden Sand mit sich. Es bildet sich alsdann eine scharfe Stufe, die schnell immer weiter landwärts vorrückt und in kurzer Zeit tritt eine wesentliche Senkung des Strandes ein. Letzterer mufs, um hiergegen gesichert zu sein, wenigstens die Neigung von 1 : 20 haben.

Am Fufse steil ansteigender Ufer, wenn dieselben auch nur aus abbrechendem Alluvial-Boden bestehn, bildet sich nicht leicht ein breiter und hoher Strand aus, während man solchen vor den daneben belegenen flachen Ufern oft bemerkt, wenn auch beide Stellen gleichem Wellenschlage ausgesetzt sind, und die Küstenströmung beiden gleiche Sandmassen zuführt. Der Grund dieser Verschiedenheit ist wohl darin zu suchen, dafs das hohe Ufer das weite Aufschlagen der Wellen verhindert, und die ganze Wassermasse im Zusammenhange zurückfliefst, also eine viel heftigere Strömung bildet, als wenn die Welle weit aufgelaufen, und ihre Masse grofsentheils in den Sand eingedrungen wäre, wobei das Wasser auf sehr verschiedenen Wegen und zum Theil in gröfserer Tiefe zum Meer zurückkehrt.

Hiermit hängt eine andre Erscheinung nahe zusammen, die beim Ausbau unserer Häfen sich sehr auffallend zu erkennen giebt. Neben den ältern, zum Theil weit vortretenden Hafendämmen, und selbst an der östlichen Seite, die von der herrschenden Küstenströmung nicht getroffen wird, traten früher starke Verflachungen ein, indem die Wellen bei heftigen Stürmen über die Dämme fortliefen, also ihre Wassermassen durch die Häfen zurückflossen. Nachdem aber diese Dämme mit Brustmauern versehn sind, welche das Ueberschlagen verhindern, werden die Sandablagerungen auf der Ostseite angegriffen, und verschwinden nach und nach. Man hat daher in neuester Zeit dieselben Ufer gegen

Abbruch schützen müssen, vor denen früher die Ablagerungen sich immer weiter ausdehnten. Diese Aenderung der Verhältnisse kann nur durch die verstärkte Rückströmung veranlafst sein.

An der Stelle, wo der rücklaufende Strom der folgenden Welle begegnet, wird er plötzlich unterbrochen und in Folge dessen läfst er den Sand und Kies, den er mit sich führt, fallen. Von hier ab hat das Wasser eine gröfsere Tiefe und wenn daher die seewärts gerichtete Strömung nach dem Vorübergange jeder Welle sich auch wieder neu bildet, oder vielleicht nur verstärkt, so bleibt sie doch schwächer, als sie am Fufs des Strandes war, und hier sammelt sich daher das gröbste Material an. Bei mäfsigem Wellenschlage bemerkt man diese Erscheinung sehr augenfällig. Der erwähnte Zusammenstofs erfolgt jedesmal etwas unter dem untern Scheitel der auflaufenden Welle. Indem aber die Höhe der Wellen nach der Stärke und Richtung des Windes sehr verschieden ist, auch der Wasserstand, selbst in denjenigen Meeren, wo keine merkliche Fluth und Ebbe statt findet, sich vielfach ändert, so erklärt es sich, dafs der Strand bei jedem Sturm sich anders gestaltet.

Man bemerkt leicht, dafs diese Ausbildung des Strandes nur möglich ist, wenn das Ufer aus Sand oder Kies besteht. Thon- oder Moorboden und eben so vegetabilische Erde, und selbst Kreide, werden durch den Stofs der Wellen so fein zertheilt, dafs die Masse bei der starken Bewegung gar nicht zu Boden sinkt, also weder einen Strand, noch auch eine steile oder flache Dossirung bildet. Nichts desto weniger sind diese feinen Theilchen specifisch schwerer, als das Seewasser. Wenn daher Letzteres durch sie auch getrübt wird, so schweben sie vorzugsweise in der Nähe des Grundes, und der rücklaufende Strom führt sie in die Tiefe hinab, von wo sie in Folge der geringen Wellenbewegung über dem Grunde nie wieder an das Ufer zurückkehren. Hierdurch erklärt es sich, weshalb es so überaus schwierig ist, ein thoniges Ufer selbst bei grofser Festigkeit gegen Abbruch zu schützen. Wenn man nicht eine vollständige und sehr solide Uferdeckung davor ausführen will, so bleibt nur übrig, auf Ablagerung grofser Sandmassen vor demselben hinzuwirken und sonach künstlich ein Sandufer zu schaffen. Die ganze Deutsche Ostsee-Küste besteht mit wenigen Ausnahmen aus Thonufern, die

auch sämmtlich mehr oder weniger im Abbruch liegen, und die aus denselben gelösten Thon- und Kalktheilchen, oder die vegetabilische Erde verschwinden spurlos.

Dafs die vorstehend bezeichneten Bewegungen der Sand- und Kies-Körnchen wirklich in dieser Weise erfolgen, ergiebt sich besonders augenfällig, wenn man in der Wellenrinne eine Sanddossirung darstellt, und die Wellen dagegen schlagen läfst. Ich bildete zuerst eine flache Böschung, die im Verhältnisse von 1 : 2,5 gegen den Horizont geneigt war, und hing zwischen den Glasscheiben der Rinne das Glimmerblättchen in solcher Höhe auf, dafs es ohne den Sand zu berühren frei ausschwingen konnte. Hierbei zeigte sich sogleich die auffallende Verschiedenheit gegen die frühere Erscheinung, dafs das Blättchen nicht mehr seine lothrechte Stellung behielt, vielmehr, wenn es von der Welle fortgestofsen wurde, sich sehr stark nach vorn überneigte. Hierdurch bestätigt es sich, dafs das aufgetriebene Wasser unter den folgenden Wellen nahe über dem Grunde zurückfliefst.

Dabei wurde die Böschung etwa in der Höhe des mittlern Wasserstandes heftig angegriffen. Grofse Sandmassen folgten der Richtung der Welle, aber das zurückfliefsende Wasser führte diese, so wie die oberwärts gelösten Körnchen wieder fort und lagerte beide unterhalb der Stelle ab, wo die erstern früher gelegen hatten. So bildete sich eine flach geneigte Ebene, die anfangs sehr schnell, später jedoch nur in geringem Maafse sich weiter ausdehnte, und endlich, wie es schien, sich nicht mehr veränderte. Dieselbe befand sich jedoch keineswegs im Zustande der Ruhe, vielmehr wurden sämmtliche Körnchen in der Oberfläche von jeder anrollenden Welle in deren Richtung fortgerissen, aber von dem später zurückfliefsenden Wasser wieder abwärts geführt und zwar soweit, bis die folgende Welle diesem Strom begegnete. Bis hierher erstreckte sich also die neue Ablagerung, und darunter lagerte sich der Sand so steil, wie er überhaupt unter Wasser sich lagern kann. Es rollten freilich von der obern flachern Dossirung eine Menge Körnchen jedesmal herab, aber sie wurden stets von der nächsten Welle wieder zurückgeführt, ehe sie die steilere Böschung berührten. Eine Ausnahme hiervon trat nur ein, wenn die flach geneigte Ebene noch nicht die nöthige Ausdehnung angenommen hatte. Der Sand, der an ihrem obern Ende

abbrach, lagerte sich hinter der erwähnten scharfen Kante, und hier wurde die Böschung nach und nach immer steiler, so dafs sie endlich sich nicht mehr erhalten konnte, und plötzlich in grofsen Massen herabstürzte. Hierdurch rückte die Ablagerung etwas weiter gegen das tiefe Wasser vor, doch blieb sie immer im Zusammenhange, und ich konnte nicht bemerken, dafs auch nur ein einziges Körnchen weiter gerollt wäre, als bis es in der nunmehr etwas flachern Böschung ein sicheres Lager gefunden hatte.

Wenn die Ablagerung unterhalb der erwähnten flach geneigten Ebene sehr steil war, so rifs die dagegen stofsende Welle auch von ihr eine Menge Sandkörnchen ab, die sie aufwärts führte. Ich konnte jedoch nicht bemerken, dafs jemals eines derselben auf jene Ebene sich lagerte, vielmehr blieb dieser Sand, so wie derjenige, den die Rückströmung herabführte, im Wasser schweben oder fiel auf die äufsere Böschung nieder.

Diese Beobachtung ergab sonach, dafs die Sandkörnchen nicht gehoben, sondern bei der Veränderung der Böschung nur abwärts getrieben wurden. Ich mufs jedoch erwähnen, dafs der Sand ganz rein ausgewaschen und ziemlich grob war, woher es allerdings denkbar ist, dafs bei stärkerer Wellenbewegung selbst dieser Sand und noch mehr ein feinerer aufwärts getrieben werden mag. Dieses ist in sofern auch wahrscheinlich, als kleine Stückchen Wachs, die ich durch eingedrückte Sandkörnchen beschwert hatte, wirklich heraufgetrieben wurden und in solcher Höhe sich lagerten, dafs sie nur von einzelnen, besonders starken Wellen noch erreicht wurden. Dafs an sandigen Meeresufern während des Sturms wirklich grofse Massen aufgeworfen werden, leidet keinen Zweifel. Die weit ausgedehnten Sandablagerungen auf und hinter dem Strande, die später vom Winde fortgetrieben, die Culturfähigkeit der angrenzenden Felder auf grofse Entfernungen fortwährend beeinträchtigen und oft gänzlich aufheben, zeigen dieses überall. Das Experiment in der Wellenrinne stellte daher, insofern die Bewegung zu schwach war, die Erscheinung nicht vollständig dar.

Nur in dem besondern Fall, wenn die Wellen recht gleichmäfsig erregt wurden, auch die Böschung an sich ziemlich flach war, fand eine sehr merkliche Ablagerung des Sandes an der

Stelle statt, welche von den Scheiteln der Wellen so eben noch erreicht wurde. Der Sand, der aber hier sich anhäufte, war wirklich von tieferen Stellen der Böschung abgebrochen, also durch die Wellen gehoben worden. Um diese Erscheinung herbeizuführen, durfte der obere Abbruch der Dossirung sich nicht steil ausbilden, er mufste vielmehr sehr flach bleiben, damit die Wellenscheitel wirklich noch darüber fortliefen und den gelösten Sand hinauftrieben. Indem aber dieser Theil der Böschung schon bedeutend über dem mittlern Stande des Wassers sich befand, und nur eine geringe Wassermasse hier auflief, so versank letztere sogleich in dem Sande und veranlafste deshalb über der Böschung keine Rückströmung, wodurch die Körnchen wieder zurück getrieben wären.

Dieselbe Erscheinung bemerkt man am Seestrande bei jeder Wellenbewegung. Die Rückströmung beginnt immer erst in einiger Entfernung von derjenigen Grenze, bis zu welcher die Welle aufläuft. Nächst derselben versinkt das Wasser im Sande, und die Sandmassen, die es mit sich führte, bleiben als ein schwacher aber dennoch merklicher Rücken liegen, der deutlich wahrnehmen läfst, bis wie weit jede letzte Welle aufgelaufen ist.

Die so eben mitgetheilten Thatsachen beziehn sich nur auf die Erscheinung im Allgemeinen, ohne dafs dabei auf bestimmte Messungen Bezug genommen wäre. Ich habe indessen auch solche in der Wellenrinne angestellt und theile die Resultate von einigen derselben in Fig. 6, 7 und 8 mit. Die Böschungen wurden, nachdem die Rinne bereits mit Wasser angefüllt und der Sand oder Kies vollständig durchnäfst war, mittelst eines dazu besonders eingerichteten Lineals sorgfältig abgestrichen, alle Vertiefungen darin ausgefüllt und der Sand, der vor dem Fufs der Böschung lag, beseitigt.

Fig. 6 zeigt die Veränderungen an einer Böschung, die ursprünglich im Verhältnisse von 3 : 10 gegen den Horizont geneigt war. Sie bestand aus grobem, ausgewaschenem und gesiebtem Seesande, dessen einzelne Körnchen etwa den dritten Theil einer Linie im Durchmesser hielten. Auf die Länge eines Zolles traf nämlich eine Reihe sich berührender Körnchen, deren Anzahl nach verschiedenen Versuchen 35 bis 40 betrug. Der Wasserstand in der Rinne maafs 2,24 Zoll. Die Höhe des obern und

untern Scheitels der Welle im freien Wasser, und des erstern über der Böschung ist in der Figur angegeben und mit *o. S.* und *u. S.* bezeichnet. Nachdem 300 Wellen dagegen gelaufen waren, hatte sich bereits jene flach geneigte Ebene sehr merklich dargestellt, wie die fein punktirte Linie angiebt. Weit geringer waren die Aenderungen, welche die folgenden 900 Wellen dabei hervorbrachten. Die hierdurch veranlafste Ablagerung des Sandes ist durch die punktirte Linie bezeichnet, welche die Schraffirung begrenzt. Es ergiebt sich hieraus, dafs der Stofs der 1200 Wellen den Fufs der Dossirung bis etwa einen halben Zoll über der Sohle der Rinne gar nicht verändert und weder Abbruch, noch Ablagerung daselbst veranlafst hatte. Die aufmerksamste Betrachtung liefs hier auch durchaus keine Bewegung der Sandkörnchen wahrnehmen. Die Veränderungen weiter aufwärts waren nur die mittelbare Wirkung der Wellen, indem sich hier der von oben abgebrochene Sand anhäufte und etwa mit zweifacher Anlage sich ablagerte. Vorübergehend, wie auch die Figur angiebt, hatte er sich merklich steiler gestellt. Die flache Ebene, auf der der Sand immer hin- und hergetrieben wurde, hatte im Allgemeinen eine zehnfache Anlage oder zehnfüfsige Böschung angenommen. Weiter aufwärts wurde die Dossirung bedeutend steiler, doch versank hier grofsentheils das aufschlagende Wasser, ohne auf der Oberfläche zurückzufliefsen. Endlich bemerkt man in einer Höhe, welche nur von einzelnen besonders grofsen Wellen erreicht wurde, einen nahe 1 Zoll breiten und $^1/_5$ Zoll hohen Rücken, der über der ursprünglichen Böschung aufgeworfen wurde, also augenscheinlich aus einer Sandmasse bestand, die durch den Stofs der Wellen aufwärts geschleudert war.

Die in den Figuren 7 und 8 dargestellten Böschungen bestanden aus gröberem Kies, dessen Körner nahe 1 Linie im Durchmesser hielten: auf einen Zoll Länge konnten nämlich 12 bis 14 derselben neben einander geschoben werden. Die Böschungen hatten ursprünglich zweifache Anlage erhalten. Die dabei nach und nach eingetretenen Aenderungen bezeichnen die Figuren in gleicher Weise, wie vorstehend angegeben. Man bemerkt, dafs die Ablagerungen sich viel steiler, als bei dem feineren Sande dossiren und stellenweise sogar eine Neigung von 45 Graden annehmen. Die Ebenen, auf denen der Kies bei jeder Welle hin-

und hertrieb, haben in Fig. 7 eine zehnfache und in Fig. 8 sogar eine vierzehnfache Anlage. Sehr auffallend ist der Unterschied in der Breite dieser Ebenen, und ohne Zweifel rührt dieser von der verschiedenen Geschwindigkeit der Wellen her. Letztere verhalten sich nach der früheren Auseinandersetzung, wie die Quadratwurzeln der Wassertiefen, und in diesem Verhältnifs stehn auch ungefähr die Breiten jener Ebenen zu einander. Die Abbrüche im obern Theil der Böschungen waren sehr steil dossirt und oft hing der äufserste Rand frei über, er befand sich aber stets in solcher Höhe, dafs er von den Wellen gar nicht erreicht wurde.

Wenn diese in der Wellenrinne angestellten Beobachtungen mit den Erscheinungen am Strande des Meeres auch eine unverkennbare Aehnlichkeit zeigen, so stellen sie die letztern doch keineswegs vollständig dar, und dieses darf nicht befremden, insofern die Bewegung des Wassers in der Rinne sehr geringe, das Material dagegen, welches die Dossirung bildete, schon bedeutend gröber war, als es am Seestrande zu sein pflegt. Aus diesem Grunde konnten die Veränderungen der Böschung nur an den Stellen sich zeigen, wo sie am auffallendsten sind. Eine wichtige Erscheinung, die sich in der Natur sehr häufig wiederholt und bei flacher Ansteigung des Grundes vielleicht jedesmal vorkommt, gab sich daher in diesen Versuchen gar nicht zu erkennen. Sie besteht darin, dafs seewärts vor dem eigentlichen Strande mehrere erhöhte Rücken sich erheben, deren Höhe zunächst dem Ufer am gröfsten ist, die aber weiterhin niedriger werden und bei zunehmender Tiefe kaum noch zu bemerken sind. Man nennt sie Riffe und gewöhnlich nimmt man an, dafs immer drei derselben in paralleler Richtung sich vor dem Ufer hinziehn. Ihre Anzahl ist indessen keineswegs constant, und oft kann man bei sorgfältiger Peilung nur eins oder zwei, und wenn die gröfsere Tiefe sehr nahe ist, gar keins bemerken, während andrerseits vier derselben auch nicht selten sind. Ein allgemein gültiges Gesetz über ihre Höhen und Entfernungen gab sich aus den vielfachen, an der Preufsischen Küste ausgeführten Messungen nicht zu erkennen. Am regelmäfsigsten gestaltet sich unter diesen noch das auf Taf. VII Fig. A dargestellte Profil, welches vor etwa 20 Jahren 132 Ruthen westlich von der Mündung des Leba-Flusses auf-

genommen wurde. Dasselbe zeigt drei Riffe, deren Rücken seewärts immer tiefer und in gröfserer gegenseitiger Entfernung liegen. Diese Riffe sind es vorzugsweise, welche die Annäherung und das Auflaufen selbst von kleinen Fahrzeugen und flachen Fischerböten auf den Strand erschweren. Auf ihnen nimmt die Welle eine gröfsere Höhe an, und nach dem Vorübergange derselben stöfst das Fahrzeug heftig auf den Grund auf.

Ohne Zweifel werden solche Riffe oder Rücken durch den Wellenschlag gebildet, und sie entstehn bei heftigem Sturm an denjenigen Stellen, wo die Wellen aus der See mit den rücklaufenden Wellen, oder mit dem verstärkten Rückstrom, den jede derselben veranlafst, sich begegnen. Indem ich hoffte, dafs auch diese Erscheinung im kleinen Experiment sich wenigstens theilweise darstellen und die dafür gegebene Erklärung bestätigen würde, so gab ich der Wellenrinne selbst zuerst eine Neigung von 1 zu 15 und sodann von 1 zu 10, so dafs also von der Stelle ab, wo die Wellen erregt wurden, die Tiefe immer geringer wurde und endlich die Oberfläche des Wassers den Boden berührte. Letztern bestreute ich zunächst mit dem ausgewaschenen groben Seesande, und als ich bemerkte, dafs dieser sich gar nicht bewegte, mit sehr feinem fast staubartigen Sande. Wie schnell ich aber auch den Apparat in Betrieb setzte, und wie weit ich auch die Scheibe ausschwingen liefs, so mifsrieth dennoch dieser Versuch vollständig. Die Reibung im Wasser war so grofs, dafs die den Wellen mitgetheilte lebendige Kraft sich jedesmal schwächte, und die Wellen beim Auflaufen auf den ansteigenden Grund immer niedrig blieben und keine Rückströmung bemerken liefsen. Der Sand kam daher gar nicht in Bewegung, jedes einzelne Körnchen blieb unverändert an seiner Stelle und nur neben der Begrenzung des stehenden Wassers wurde ein schmaler Streifen des Bodens der Rinne sichtbar. Der Versuch war aber in sofern interessant, als die Wellen, je weiter sie sich von der Erregungsstelle entfernten, immer kürzer wurden, oder ihre obern Scheitel näher zusammenrückten. Hierdurch bestätigt sich wieder, dafs ihre Geschwindigkeit bei abnehmender Tiefe sich vermindert.

Das Entstehn der erwähnten Riffe, die stets unter dem jedesmaligen Wasserstande bleiben, beweist, dafs die Wellen nicht allein unmittelbar vor dem Strande, sondern auch in weiterem

Abstande und in gröfserer Tiefe den daselbst abgelagerten Sand in Bewegung setzen, und denselben bei heftigem Sturm wahrscheinlich in grofser Masse nach dem Ufer treiben. Es wäre sonst in den meisten Fällen unerklärlich, wie der Sand stellenweise sich so stark auf dem Strande und hinter demselben anhäufen könnte. Vielleicht wird indessen von dieser grofsen Masse während des Sturms nur ein kleiner Theil über den Spiegel der See geworfen, und derselbe tritt nur dadurch zu Tage, dafs nach dem Sturm die Anschwellung aufhört und der Wasserstand wieder auf sein gewöhnliches Maafs zurücksinkt. Sobald Letzteres geschieht, bemerkt man nämlich, dafs dasjenige Riff, welches dem Ufer am nächsten liegt, demselben sich stark genähert und zugleich so erhöht hat, dafs es nunmehr über Wasser liegt. Es bildet eine schmale Zunge, die sich vielfach an den Strand anschliefst, und über welche einzelne Wellen noch herüberschlagen und die dahinter belegenen Lachen theilweise mit neuem Sand ausfüllen. Sobald das Wasser seinen gewöhnlichen Stand annimmt, ragen diese flachen Rücken 1 bis 2 Fufs darüber hervor, und indem sie trocken werden, so füllen jene Lachen sich vollständig aus, der Strand gewinnt an Breite und bei anhaltendem schwächeren Seewinde fliegt der Sand, aus dem sie bestehn, nach den Dünen und auf die dahinter belegenen Flächen.

Es dürfte keine gewagte Voraussetzung sein, dafs der Sand, der von der seewärts gerichteten Strömung herabgeführt wird, nicht über diejenige Grenze hinaustritt, wo die Wellen ihn wieder in Bewegung setzen und ihn daher auch wieder nach dem Ufer zurückführen können. Dafs es eine gewisse Grenze giebt, welche der Sand nicht überschreitet, habe ich, wie bereits § 1 erwähnt, auf der Insel Wangeroog gesehn. Hiermit hängt auch die Erscheinung zusammen, dafs vor Pillau, wo die Ufer hoch mit Sand bedeckt sind, und wo auch das tiefe Fahrwasser über dem Sande sich hinzieht, dennoch der Grund der Rhede nur aus zähem Thon besteht, und ganz frei von Sand ist. Man kann dieses sehr deutlich wahrnehmen, wenn man den Boden untersucht, welcher an den gehobenen Ankern haftet.

Von grofser Wichtigkeit und zwar besonders in Bezug auf den Hafenbau ist das Verhalten der Wellen, wenn sie senkrechte oder sehr steile Ufer treffen. Es ergiebt sich aus den bereits

entwickelten Gesetzen, dafs die Schwingungen der zunächst an der senkrechten Wand befindlichen Wasserfäden ganz aufhören, und der erhaltene Impuls nur auf ihre periodische Verlängerung und Verkürzung, oder auf Hebung und Senkung der Oberfläche des Wassers wirken kann. Der Fufs dieser Wasserfäden bleibt unverändert an seiner Stelle, der Boden darunter ist daher keinem Angriff ausgesetzt. Die Beobachtungen, die ich in der Wellenrinne anstellte, bestätigten dieses vollständig. Das Glimmerblättchen blieb vor einer senkrechten Wand, die bis über den Wasserspiegel herausragte, unverändert in seiner Lage. Nur wenn es zufällig eine schräge Richtung annahm, so legte es sich fest an die Wand, und trennte sich nicht wieder von derselben. Die Wellen hoben und senkten sich in den Scheiteln auffallend stärker, als in einiger Entfernung, aber hierin allein gab sich die Wellenbewegung an dieser Stelle zu erkennen. Ich bestreute den Boden der Rinne mit dem feinsten Sande, der durch sorgfältiges Auswaschen vom Staube gereinigt war. Auch dieser blieb neben der Wand unbewegt liegen, ohne dafs ein Körnchen hin- und hergerollt oder fortgetrieben wäre. Die Bewegung des Wassers ist also in diesem Fall wesentlich von derjenigen verschieden, welche auf flachen Dossirungen eintritt. Auf solchen nimmt die ganze Masse eine starke horizontale Bewegung an und reifst Sand und Steine mit sich fort, vor der senkrechten Wand erfolgt dagegen nur Hebung und Senkung des Wassers, und die Einwirkung auf den Boden hört auf.

Auch in andrer Beziehung schliefsen sich die in der Wellenrinne beobachteten Erscheinungen an die im offenen Meer eintretenden an. In den Vernehmungen, die auf Veranlassung des Parlaments in Betreff des Hafens von Dover statt fanden, machte der Captän James Vetch die Mittheilung*), dafs er beim Ausgehn aus dem kleinen Hafen Scarnish auf der Insel Tiree in einem leichten Fahrzeuge (von 25 Last) durch einen heftigen Wind gegen eine steile Felswand getrieben sei, die etwa 60 Grade gegen den Horizont geneigt war, und dafs das Fahrzeug sich nur

*) Report on the harbour of Refuge to be constructed in Dover-Bay. London 1847. p. 53.

hob und senkte, ohne den Felsen zu berühren, obwohl es keinen vollen Yard davon entfernt war.

Bei derselben Gelegenheit erwähnte Professor Airy *), er sei einst zur Zeit des Hochwassers und zwar bei starkem Seegange aus dem Hafen Swansea gerudert, während neben den steilen Köpfen der Hafendämme die Wassertiefe etwa 20 Fufs betrug. Wir fuhren, sagt er, an dem einen Kopfe so nahe vorbei, dafs wir ihn mit den Rudern berühren konnten, es fand hier aber keine Brandung statt und wir durften das Gegenstofsen des Bootes nicht fürchten, obwohl dasselbe viele Fufs hoch sich abwechselnd hob und senkte. Kaum waren wir indessen etwa 200 Yards weiter gekommen, als wir uns vor einer flachen Bank befanden, und hier brandete die See so stark, dafs sie zwei Mann über Bord schlug und das Boot mit Wasser füllte. Derselbe erwähnte ferner, er sei bei andrer Gelegenheit an einigen der aus tiefem Wasser senkrecht aufsteigenden Felsen an der Ostseite des Cap Lizard vorbeigerudert und habe auch hier gesehn, dafs die Wellen nicht brachen, während auf den flach ansteigenden sandigen Ufern bei Cadgwith gleichzeitig hohe Brandung gewesen sei. Ein ausgezeichneter Ingenieur habe ihm auch erzählt, wie sehr er überrascht worden, als er gesehn, dafs vor den Klippen, die aus dem tiefen Wasser in der Bai von Valencia sich erheben, die hohen Wellen keine Brandung bemerken liefsen.

Dieselbe Erfahrung machte ich auch, als ich bei mäfsigem Seegange aus der Bai von Vigo im nördlichen Spanien nach der portugiesischen Küste fuhr. Die Südseite der Insel Bajona wurde von den Wellen getroffen, dieselben brandeten aber nicht, so weit sie gegen die steil ansteigende Felswand schlugen. Ostwärts dagegen liegt vor den Felsen ein sandiges Ufer und hier fand eine heftige Brandung statt, die sich noch in meilenweiter Entfernung durch den weifsen Schaum zu erkennen gab.

Indem diese Thatsachen unverkennbar dafür sprechen, dafs auch an der See vor steilen Ufern die horizontale Bewegung aufhört, so folgt hieraus wieder, dafs unmittelbar über dem Grunde, wo aufserdem auch die vertikale Bewegung sehr geringe ist, beinahe vollständige Ruhe stattfinden mufs, und dafs sonach hier

*) Ebendaselbst, pag. 88.

durch den Wellenschlag Sand oder Kies weder abgelagert, noch auch abgeführt wird, wenn nicht etwa die Küstenströmung, die namentlich durch Fluth und Ebbe sehr verstärkt zu werden pflegt, die Verhältnisse wesentlich ändert. Als der neue Hafendamm vor Dover erbaut werden sollte, der ganz steil aus der Tiefe von etwa 40 Fufs unter Niedrig-Wasser ansteigt, besorgte man, dafs der Kreideboden unter ihm durch den Wellenschlag ausgewaschen und er dadurch bedroht werden möchte. Diese Besorgnifs hat sich indessen nicht bestätigt. Auch sonstige Erfahrungen begründen keineswegs die Vermuthung, dafs der Wellenschlag vor senkrechten oder steilen Wänden Vertiefung erzeugt. Auf der westlichen Seite von Colberger-Münde ist ein Werk auf der Düne durch eine Steinböschung geschützt, die sich gegen eine senkrechte Holzwand lehnt. Vor der letztern, obwol sie dem vollen Wellenschlage der See ausgesetzt ist, bildet sich niemals eine solche Tiefe aus, welche die Wand in Gefahr brächte. Nur die Strömung ist hier wirksam, indem sie bald den Sand davor ablagert, der oft sogar über Wasser tritt, und bald ihn wieder forttreibt. Wenn demnach Th. Stevenson sagt, dafs vor steilen Wänden, besonders wenn sie recht glatt sind, der Wellenschlag starke Auskolkungen veranlafst, so ist zu vermuthen, dafs er die Wirkungen der Wellen mit denen der Strömung verwechselt hat.

Auf die Bewegung des Sandes und Kieses längs eines flachen Ufers oder des Strandes haben die Wellen wesentlichen Einflufs, wenn dabei auch die Küstenströmung vielleicht vorzugsweise wirksam ist. Laufen die Wellen nicht normal, sondern etwas schräge gegen den Strand, so behält das auftretende und selbst das zurückfliefsende Wasser diese Seitenbewegung bei und die fortgestofsenen Körnchen werden weiter geschoben. Es erklärt sich dadurch, dafs neben vortretenden Werken, der Richtung des Windes entsprechend, bald auf der einen und bald auf der andern Seite Versandungen eintreten.

Auf die überraschenden Erscheinungen, welche hohe Wellen ausüben, wenn sie gegen senkrechte oder nahe senkrechte Flächen von gröfserer oder geringerer Ausdehnung treffen, mufs noch zurückgekommen werden. Betrachtet man zunächst den Fall, dafs eine vertikale Wand aus grofser Tiefe bis hoch über Wasser sich erhebt, so steigt die regelmäfsig schwingende Welle neben derselben,

ohne zu brechen, zu gröfserer Höhe, vielleicht bis zum Doppelten ihrer frühern Höhe über den mittlern Wasserstand an und wird alsdann reflectirt. Findet sie dagegen beim Ansteigen ein Hindernifs, so treten sogleich ihre zerstörenden Wirkungen ein.

Wenn eine Landebrücke so niedrig liegt, dafs ihr Belag von den Wellen erreicht wird, so kann dieser dem Stofs nicht widerstehn, die Nägel- oder Bolzen, womit die Bohlen befestigt sind, werden in kürzester Zeit gelöst und ausgerissen, oder die Bohlen zerbrochen, sowie auch die Balken aus den Zapfen gehoben werden. Um die Brücke zu sichern, mufs das Aufsteigen der Welle möglichst wenig verhindert sein, der Belag mufs daher aus Latten bestehn, die unten zugeschärft sind, und durch deren weite Fugen das Wasser hindurchtreten kann.

Sobald die vertikale Bewegung des Wassers aber kein Hindernifs findet, so äufsert sich bei gröfserer Tiefe keine zerstörende Wirkung. Rendel bemerkte bei Ausführung des Hafendammes bei Portland, dafs Rüstpfähle, die im tiefen Wasser eingerammt waren, auch bei den heftigsten Stürmen nicht beschädigt wurden. In gleicher Weise erlitt die Pfahlwand, die einst zur Verlängerung des westlichen Hafendammes bei Stolpmünde vor der Ausführung der Steinschüttung, in offener See, eingerammt wurde, keine Beschädigung. Die Gefahr für solche Wände oder einzelne Pfähle tritt erst ein, wenn sie hinter natürlichen oder künstlichen Böschungen sich befinden, wo die ganze Wassermasse der Welle schon eine starke horizontale Bewegung angenommen hat. Sehr auffallend zeigte sich dieses bei der Ausführung des Kopfes vor der Ostmole in Swinemünde. Auf einer Steinschüttung zwischen Pfahlwänden sollte der Kopf aufgemauert werden. Die Arbeit begann vor 10 Jahren mit diesen Rammarbeiten, da aber für Anlieferung der Steine nicht gehörig gesorgt war, so standen die Pfahlwände, als die Arbeit im Herbst aufhörte, ganz frei. Bei einem heftigen Sturm brachen sie sämmtlich ab, soweit sie die Böschung der alten Mole noch vor sich hatten. Dagegen blieben die äufserten, die doch den stärksten Wellen ausgesetzt waren, und etwa 25 Fufs frei standen, ganz unversehrt.

Die Wirkung der auf die äufsere Dossirung dieser Mole auflaufenden Wellen hatte sich schon früher auffallend zu

erkennen gegeben, indem aus dieser Dossirung viele und zum Theil sehr grofse Steine über die abgepflasterte Krone fort in den Hafen geworfen waren, so dafs hier wenig unter dem mittlern Wasserstande sich daraus ein vollständiges breites Banket gebildet hatte, das ursprünglich gar nicht existirte. Der Wärter des kleinen Leuchtthurms auf dem Kopf der alten Mole, der während des heftigen Sturms in den letzten Tagen des Jahres 1857, von aller Verbindung mit dem Lande abgeschnitten, drei Tage hindurch in dem massiven Unterbau sich aufhalten mufste, sagte aus, dafs einer der grofsen Schwedischen gesprengten Granitblöcke, von etwa 50 Cubikfufs Inhalt, wiederholentlich gegen diesen Unterbau geschleudert, und derselbe dadurch so erschüttert worden, dafs er seinen Einsturz gefürchtet hätte, bis endlich eine Welle ihm eine andre Richtung gegeben und er neben dem Thurm über die Krone des Dammes fort in den Hafen geworfen sei. Einer ähnlichen noch viel auffallenderen Thatsache erwähnt Thomas Stevenson. Beim Beginn des Leuchtthurm-Baues auf Barrahead, einer der Hebridischen Inseln, erzählten ihm die Einwohner, dafs ein Gneifs-Block am Strande, der 9 Fufs lang, 8 Fufs breit und 7 Fufs hoch war, also etwa 500 Cubikfufs hielt, bei heftigem Sturm von den Wellen hin- und hergerollt werde. Wie unglaublich diese Mittheilung erschien, so wurde sie doch im Januar 1836 bestätigt. Die ankommende Welle verbarg und begrub jedesmal den Stein, und ihr Scheitel erreichte in der Höhe von 40 Fufs über dem Hochwasser-Spiegel das Ufer. Sobald die Welle den Stein verliefs, bemerkte man, dafs er weiter landwärts lag, das zurückfliefsende Wasser stiefs ihn aber wieder nach der See, worauf er nahe trocken wurde, bis eine folgende Welle ihn aufs Neue in derselben Art bewegte.

Auch die beim Bau des Wellenbrechers vor Cherbourg gemachten Erfahrungen stimmen hiermit überein. Auf dem östlichen Flügel waren nicht nur seit langer Zeit die seeseitigen Dossirungen durch Steinschüttung gebildet und diese theilweise mit Béton-Blöcken von 20 Cubikmeter oder 640 Cubikfufs Inhalt überdeckt, sondern es war auch eine beinahe senkrechte Mauer von 19 Fufs Höhe auf der Krone aufgeführt. Beim Gegenschlagen an diese Mauer erhoben sich die Wellen, wie man schon 1835 wahrnahm, oft mehr als 30 und 40 Meter (95 bis

130 Rheinl. Fuſs). Auf sehr heftige Angriffe muſste man daher gefaſst sein. Beim ungewöhnlichen Nord-Nord-Ost-Sturm am 25. December 1836 traten auch in der That sehr groſse Beschädigungen ein, und was besonders Erwähnung verdient, mehr als 200 der natürlichen Steine, welche die Dossirung bildeten, waren über die Mauer herübergeworfen und lagen auf der südlichen Risberme. Mehrere wogen über 3000 Kilogramme. An der östlichen Ecke waren auch die groſsen Béton-Blöcke in Bewegung gekommen und zum Theil bis 20 Meter weit fortgetrieben. Zwei derselben waren dabei umgekehrt *).

Endlich erwähne ich noch eine Thatsache, auf welche ich bei meiner Anwesenheit in Cette durch den dortigen Ingenieur aufmerksam gemacht wurde. Zum Schutz der alten Steinschüttung, welche die Dossirung des Wellenbrechers bildet, waren sehr groſse Béton-Blöcke, nämlich von 70 Cubikmeter oder von 2240 Rheinl. Cubikfuſs aus Bruchsteinen aufgemauert worden. Sie hatten keine parallelopipädische Form, waren vielmehr in der Mitte höher, als an den Enden, damit sie von den Wellen nicht zu heftig getroffen werden möchten. Ihre Länge maaſs 7 Meter, ihre Breite 5 Meter und ihre Höhe in der Mitte 3 und an den Enden 1,5 Meter. Drei dieser Steine lagen auf der flach ansteigenden Dossirung normal gegen das Ufer, so daſs also nur eine Fläche von 7,5 Quadratmeter dem Stoſs der Wellen ausgesetzt war, in geringem Abstande von einander und in gleicher Richtung. Bei dem Sturm am 20. August 1857 war der mittlere dieser Steine 1 Meter weit die Dossirung heraufgeschoben. Andre isolirt liegende Blöcke schienen noch weiter bewegt zu sein, doch lieſs sich der Weg, den sie gemacht hatten, nicht sicher bestimmen. Wenn man nun auch darauf Rücksicht nimmt, daſs unter der darüber laufenden Welle ein groſser Theil des Gewichts aufgehoben wurde, so muſste die Welle doch einen Effect ausgeübt haben, der wenigstens einem Druck von 1000 Pfund auf den Rheinländischen Quadratfuſs entsprach.

Thomas Stevenson theilt in der neuen Ausgabe seines Werkes über Hafenbau noch andre ähnliche Erfahrungen mit. Am Bishop-

*) Travaux d'Achévement de la digue de Cherbourg par J. Bonnin. Paris 1857. pag. 60.

Rock-Leuchtthurm wurde eine Glocke, die 100 Fuſs über Hochwasser hing, durch die Wellen herabgerissen, und auf dem Thurm zu Unst, der nördlichsten der Schetlands Inseln, sogar 195 Fuſs über Wasser eine Thür eingeschlagen. Auf Bound Skerry sah der Verfasser, daſs ein Block von etwa 80 Cubikfuſs Inhalt, in der Höhe von 72 Fuſs über dem Meere während eines Sturmes etwa 20 Fuſs über den sehr unebnen Felsboden von den Wellen fortgestoſsen wurde. Bei Wick in Schottland war der Pier, der in die Nordsee vortrat, mit groſser Vorsicht gebaut, da man die gefährliche Lage desselben schon kannte. Auf die Steinschüttung, welche den Fuſs bildete, hatte man 18 Fuſs unter Niedrigwasser drei Schichten groſser Blöcke, von denen jeder von 1000 bis 1400 Cubikfuſs hielt, regelmäſsig versenkt und hierüber ein 21 Fuſs hohes und in der Krone 43 Fuſs breites Massiv von Béton errichtet, das sich 10 Fuſs über Hochwasser erhob und durch eine groſse Anzahl eiserner Anker von $3^1/_2$ Zoll Stärke zusammengehalten wurde. Der Sturm im December 1872 zerstörte dieses Werk. Ein Béton-Block von etwa 19000 Cubikfuſs Inhalt war von den Wellen abgeschoben und lag unzerbrochen auf der innern Dossirung. Den Grundbau fand man ganz unversehrt.

Vor der Mündung der Loire hatte man zur Bezeichnung einer Klippe, Petit Charpentier benannt, im Jahr 1862 aus sehr lagerhaften Bruchsteinen und in Cementmörtel als Marke einen thurmähnlichen Bau ausgeführt, der über das Hochwasser bei Springfluthen nahe 13 Fuſs vorragte. Seine ganze Höhe maaſs $20^1/_2$ Fuſs, der untere Durchmesser 10 Fuſs und der obere 8 Fuſs 3 Zoll. Der heftigste Wellenschlag findet hier bei Nord-West-Winden statt, und die Wellen erheben sich in der Nähe dieser Klippe nach Aussage der Lootsen nur etwa 8 Fuſs hoch, während sie weiter auswärts eine gröſsere Höhe erreichen. Im April 1868 bemerkte man, daſs der Bau etwa 1 Fuſs über dem Felsen schräge abgebrochen war und sich überneigte. Die nähere Untersuchung bei Beseitigung des Mauerwerks ergab, daſs dasselbe sorgfältig ausgeführt, auch daſs der Mörtel einen hohen Härtegrad besaſs. Unter Zugrundelegung des letztern ergiebt sich, daſs die Wellen auf den Quadratmeter einen Druck von 23400

Kilogramm oder auf den Quadratfufs von 4610 Pfund ausüben mufsten *).

Stevenson maafs mit einem Instrument, das er Marine-Dynamometer nannte, wiederholentlich den Effect der Wellen. Fig. 14, a und b stellt dasselbe in der Seitenansicht und im Querdurchschnitt dar. Es besteht aus einem gufseisernen Cylinder von 8 Zoll Länge und 4 Zoll äufserm Durchmesser. An dem einen Ende desselben ist ein Boden angegossen, am andern befindet sich ein vortretender Rand, woran man einen Deckel mit Schrauben befestigen kann. Zwei andre Ränder an beiden Seiten des Cylinders und parallel zur Achse desselben dienen zu seiner Befestigung, indem Bolzen, die in den vorher zugerichteten Felsen eingelassen waren, hindurchreichen und durch Schraubenmuttern die Verbindung darstellen. Dieser Cylinder wurde seitwärts an einen vortretenden Felskopf so befestigt, dafs die Wellen in der Richtung seiner Achse dagegenschlugen, diese Achse war aber horizontal, weil es darauf ankam, den horizontalen Stofs zu messen. Die Höhe mufste so gewählt werden, dafs man bei Niedrigwasser noch bequem hinzukommen und die Ablesung vornehmen konnte, zu diesem Zweck durfte das Instrument nicht niedriger liegen, als etwa auf drei Viertel der gewöhnlichen Fluthhöhe über Niedrigwasser. Durch den Boden und den aufgeschobenen Deckel, der seewärts gekehrt wurde, waren übereinstimmend vier Löcher gebohrt, durch welche eben so viele eiserne Stangen hindurchreichten. Diese trugen an der Seeseite die vertikale Scheibe, welche den Stofs empfing. Der Durchmesser derselben maafs gemeinhin 6 Zoll, doch konnten auch Scheiben von 3 und 9 Zoll aufgesetzt werden. Im Innern des Cylinders war an jenen Stangen noch eine andre Scheibe angebracht, die nur zur Befestigung von vier starken Spiralfedern diente. Letztere befanden sich zwischen dieser Scheibe und dem äufsern Deckel, und waren mit beiden fest verbunden. Beim Stofs der Wellen zogen sie sich weiter aus, und um zu sehn, wie weit dieses beim stärksten Stofs geschehn war, so wurden auf die hintern Enden der Stangen und zwar noch innerhalb des Cylinders, je vier Lederstückchen aufgezogen, die beim Zurückgehn der Stangen an den Boden stiefsen und durch

*) Annales des ports et chaussées. 1869. I. pag. 387.

diesen verschoben wurden. Es legten sich alsdann an jeder einzelnen Stange mehrere derselben Lederscheiben dicht an einander, und wenn sie in dieser Stellung befunden wurden, so durfte man annehmen, dafs sie sich nicht später verschoben hätten. Aufserdem zeigte auch die übereinstimmende Lage der Scheiben an allen vier Stangen jedesmal, dafs eine Verschiebung nicht vorgekommen sei. Die erwähnten Federn konnten zur nöthigen Abwechslung der Versuche mit andern, die stärker oder schwächer waren, vertauscht werden. Zur Ablesung der stärksten eingetretenen Bewegungen befand sich in dem Cylinder eine Thür, durch welche man den Abstand zwischen dem hintern Boden des Cylinders und den Scheiben im Innern messen, oder vielmehr auf den eingetheilten Stangen ablesen konnte. Vor der Befestigung des Cylinders wurden die Federn untersucht, indem man bei aufrechter Stellung des Cylinders auf die äufsere Scheibe verschiedene Gewichte legte, und zusah, bis zu welchen Theilstrichen die Stangen jedesmal zurückgingen.

Mit diesem Instrument wurden zunächst an drei verschiedenen Orten Messungen gemacht, nämlich an der Irischen See auf Little Rofs, im Atlantischen Meer auf der Insel Tiree und in der Nordsee auf Bell-Rock. Am wichtigsten sind die Beobachtungen für den Atlantischen Ocean, die ohne Unterbrechung 23 Monate hindurch fortgesetzt wurden, sie ergaben für die stärksten Stürme während der Sommermonate den Druck der Welle auf den Quadratfufs Oberfläche durchschnittlich 611 Pfund, und während der Wintermonate 2086 Pfund. Der stärkste Druck, der überhaupt beobachtet wurde, betrug 6083 Pfund. Auf Rheinländisches Flächenmaafs und deutsches Gewicht oder halbe Kilogramme reducirt, verwandeln sich diese drei Pressungen in 587, 2007 und 5852 Pfund. In der Nordsee und zwar auf Bell-Rock wurde der stärkste Druck gleich 3013 Pfund, also in unserm Maafs und Gewicht 3000 Pfund gefunden.

Offenbar haben diese Resultate selbst für eine bestimmte Localität keine allgemeine Gültigkeit, und sind gewifs vorzugsweise davon abhängig, in welcher Art die Wellen auflaufen, und ob deren Wassermasse schon entschieden die fortschreitende Bewegung angenommen hat. Sodann ist es zweifelhaft, ob der Stofs der Welle der Ausdehnung der getroffenen Scheibe proportional

ist, und wahrscheinlich wird dieser bei derselben Welle, wenn man ihn in verschiedenen Höhen mifst, auch sehr verschiedene Werthe annehmen. Endlich aber ist die Vergleichung des Stofses mit dem Druck sehr zweifelhaft, und so mag es auch bei diesen Versuchen vorgekommen sein, dafs die schwere Scheibe, während die Feder noch nicht auf sie einwirkte, eine so starke Bewegung annahm, dafs sie in Folge ihres Trägheits-Momentes weiter zurückwich, als der Druck des Wassers es erfordert hätte.

Auch später hat Stevenson diese Beobachtungen fortgesetzt, und darunter sind besonders diejenigen wichtig, die auf dem Skerryvore-Rock, auf der Westküste von Schottland, angestellt wurden. Daselbst wurden an zwei verschiedenen Felsen zwei Dynamometer benutzt, von denen das eine 40 Fufs weiter seewärts und etwas tiefer, als das andre angebracht war. Der an dem letzten beobachtete Druck war in allen zwölf Fällen bedeutend geringer und durchschnittlich nur etwa halb so grofs, als der am ersten gemefsne. Beim weitern Auflaufen auf die Felsen hatte also das Wasser eine stärkere horizontale Bewegung angenommen. Der stärkste hier beobachtete Druck, der bei sehr heftigem Sturm eintrat, und wobei die anlaufenden Wellen etwa 20 Fufs hoch waren, ergab wieder 6083 Pfund auf den Quadratfufs. Stevenson meint, man müsse bei solcher freien Lage sich bis auf Pressungen von etwa 8000 Pfund gefafst machen, da man nicht annehmen darf, dafs die Beobachtungen gerade zur Zeit der allerstärksten Stürme angestellt wurden.

Bei dieser Gelegenheit wirft Stevenson die Frage auf, ob die Welle wie ein fester Körper einen wirklichen Stoss, oder nur todten Druck ausübt. Er entscheidet sich unbedingt für das Letzte, und theilt zur Begründung seiner Ansicht einige Versuche mit, die er hierüber angestellt hatte. Er brachte nämlich zwei Dynamometer neben einander an, deren Federn verschiedene Spannungen hatten, wobei also unter gleichem Druck die Scheiben verschiedenen Ausschlag zeigten, auch waren die Gewichte der Scheiben mit den damit verbundenen Stangen etwas verschieden. Nachdem die Apparate dem Wellenschlage ausgesetzt waren, gaben sie sämmtlich den stärksten Druck nahe übereinstimmend an. Sie wurden hierauf abgenommen und so aufgestellt, dafs die Scheiben sich in horizontaler Lage befanden und aufwärts gekehrt waren.

Alsdann liefs er eine Kanonen-Kugel, die $32\frac{1}{2}$ Pfund wog, aus verschiedenen Höhen von 6 Zoll bis 2 Fufs darauf herabfallen, und es ergab sich wieder, dafs bei gleichen Fallhöhen in allen drei Apparaten der Ausschlag der Feder nahe gleichen Pressungen entsprach.

Wenn dieses letzte Resultat ganz allgemein und selbst bei sehr verschiedenen Gewichten der beweglichen Theile des Apparates richtig wäre, so würde in Betreff der Wellenbewegung, die dabei ganz unberührt bleibt, nichts zu folgern sein, wohl aber würde die ganze bisherige Auffassung des Stofses sich als unrichtig ergeben. Es seheint nöthig, in die Verhältnisse beim Anschlagen der Wellen gegen feste Körper näher einzugehn.

Schon Daniel Berrouilli und Euler haben aus den allgemeinen dynamischen Gesetzen den Druck herzuleiten versucht, den isolirte continuirliche Wasserstrahlen auf entgegenstehende Flächen ausüben, und die gefundenen Resultate schliefsen sich in der Hauptsache an die ausgedehnten Beobachtungen an, die in neuerer Zeit Bidone*) in dem zu Messungen dieser Art bestimmten Wasserthurm in Turin**) angestellt hat. Es ergiebt sich daraus, dafs ein Strahl, der eine normal entgegengekehrte feste Ebene trifft, im Allgemeinen darauf einen Druck ausübt gleich dem Druck einer Säule von gleichem Querschnitt und doppelter Druckhöhe des Strahls. Die einfache Betrachtung der mechanischen Verhältnisse führt schon zu diesem Resultat, wenn man die nach und nach eintretende Verminderung der gegen die Ebene gerichteten Geschwindigkeit berücksichtigt und annimmt, dafs diese Geschwindigkeit schliefslich vollständig aufhört, und alles Wasser in der Richtung der Ebene abfliefst. Auch Franz Gerstner zeigte dieses, als er den Effect unterschlächtiger Mühlenräder berechnete, doch einfacher hat Weisbach den Beweis dafür geliefert***).

Nach Maafsgabe der Gröfse und der Beschaffenheit der Scheibe treten indessen wesentliche Modificationen der Erscheinung ein. In dem Maafse, wie der Strahl bei der Annäherung an die

*) Expériences sur la percussion des veines d'eau in den Memorie della reale accademia delle science di Torino. Tomo XL. Torrino 1838,

**) Von diesem Thurme war bereits Theil I dieses Handbuchs, Band I, Seite 141 die Rede.

***) Weisbach, Lehrbuch der Ingenieur-Mechanik, Theil I § 499.

Scheibe seine gegen dieselbe gerichtete Geschwindigkeit vermindert, mufs sein Querschnitt sich vergröfsern, er nimmt also eine conische Gestalt an. Ist die Scheibe nicht so grofs, dafs die erwähnte Geschwindigkeit vollständig aufgehoben wird, so bleibt auch der darauf ausgeübte Druck geringer. Letzterer vergröfsert sich aber, wenn die Scheibe mit einem vortretenden Rande versehn ist, durch welchen das Wasser gezwungen wird, mehr oder weniger in entgegengesetzter Richtung abzufliefsen, und wenn man in einer concaven Fläche den Strahl auffängt, die so gekrümmt ist, dafs das Wasser, ohne Hindernissen zu begegnen, der früheren Richtung gerade entgegen abfliefst, so wird der Druck doppelt so grofs, als gegen die hinreichend grofse Planscheibe, oder er entspricht dem Vierfachen der Fallhöhe, welche die Geschwindigkeit des Wassers beim Begegnen der Scheibe darstellt.

Man darf dabei nicht unbeachtet lassen, dafs der Druck gegen die Ebene nur in dem Fall den angegebenen Werth annehmen kann, wenn die Ebene vergleichungsweise zum Querschnitt des Strahls sehr grofs, genau genommen, unendlich grofs ist. Wenn eine Welle gegen eine Ebene tritt, und man voraussetzt, dass nach der ersten Berührung ihre Wassermasse gleichmäfsig zuströmt, so würden die einzelnen Fäden in derselben nicht wie in dem dünnen Strahl seitwärts ausweichen können, weil die daneben befindlichen Wassermassen dieses verhindern. Jeder Faden würde nur eine Fläche von der Gröfse seines eignen Querschnitts treffen, und der Druck könnte nicht gröfser sein, als derjenige der Fallhöhe, die seiner Geschwindigkeit entspricht.

Was die erste Berührung der Wassermasse mit der festen Wand betrifft, so sind dabei unverkennbar die Verhältnisse wesentlich anders. Der Strahl, welcher der Wand entgegenspritzt, hat, ehe er sie berührt, noch nicht die kegelförmige Gestalt angenommen, und seine einzelnen Fäden haben noch nicht die Wege gefunden, in welchen sie ausweichen können. Es ist also nicht denkbar, dafs das erste Zusammentreffen etwas Andres, als der Stofs eines festen Körpers sein sollte, und bei der losen Verbindung der Masse fragt es sich nur, welcher Theil derselben diesen Stofs ausübt.

Bidone hat im fünften Paragraph der erwähnten Abhandlung auch mehrere Beobachtungen über den ersten Stofs verschiedener

Wasserstrahlen gegen eine Scheibe mitgetheilt, die wie die Linse eines Pendels eine horizontale Achse bewegte. An einem Seitenarm der letztern hing die Schale für die Gewichte, welche dem Druck des continuirlichen Strahls entsprachen. War nun für einen gewissen Strahl dieses Gewicht ermittelt, und wurde die Scheibe so festgestellt, daſs sie nach dem Schluſs der Ausfluſsöffnung nicht durch das Gegengewicht vorgeschoben werden konnte, so stieſs der aufs Neue ausspritzende Strahl, sobald man die Oeffnung frei machte, jedesmal die Scheibe stark zurück. Der erste Impuls des Strahls war also viel stärker, als der spätere Druck desselben. Das auf der Schale liegende Gewicht muſste in vielen Fällen verdoppelt werden, bevor der Stoſs des so eben austretenden Strahls die Scheibe nicht merklich zurückstieſs.

Bidone änderte diese Versuche noch dahin ab, daſs er die Scheibe nicht lothrecht unter der Achse zurückhielt, sondern sie vielmehr so stellte, daſs sie der Ausfluſsöffnung sich etwas näherte, und nunmehr beobachtete er dasjenige Gegengewicht, unter dem sie durch den Strahl so eben in die lothrechte Stellung hinein gestoſsen wurde. Diese Beobachtungen sind indessen von wenig Werth, da die Gewichte und die Vertheilung der an die Achse befestigten Massen nicht genau genug angegeben sind, um darnach die Trägheitsmomente berechnen zu können. Die Resultate würden ohne Zweifel in Betreff des ersten Stoſses ganz andre gewesen sein, wenn der bewegliche Theil des Apparats mehr Masse gehabt hätte, wogegen der Druck des continuirlichen Strahls alsdann noch eben so groſs wie früher gefunden wäre.

Diese Beobachtungen bestätigen aber augenscheinlich die an sich schon begründete Voraussetzung, daſs eine bewegte Wassermasse, die einen festen Körper trifft, auf denselben einen Stoſs ausübt, und die Wirkung desselben den bekannten Gesetzen des Stoſses folgen muſs. Die Geschwindigkeit, mit welcher die betreffende Wassermasse sich dem Körper nähert, läſst sich messen. Sie ist nicht bedeutend in den schwingenden Wellen, aber sie wird sehr groſs, wenn beim Auflaufen auf eine geneigte Fläche die ganze Wassermasse die Geschwindigkeit der Welle annimmt. Wie groſs die Wassermasse sein mag, welche den Stoſs ausübt, läſst sich nach den bisherigen Untersuchungen nicht angeben, doch

scheint sie nach den Wirkungen, welche sie auf einzelne Felsblöcke ausübt, sehr bedeutend zu sein. Wenn sie aber eine feste Mauer trifft, die sie nicht fortstofsen kann, so wird sie diese, wenn die Masse nicht zu grofs ist, wenigstens erschüttern, und wenn der Kamm der Welle neben der Mauer überschlägt, so erleidet die eingeschlofsne Luft einen plötzlichen Stofs, wie beim Entzünden des Pulvers in einem Rohr, und das hohe Aufspritzen des Wassers, welches man vor Hafenmauern so oft im Sturme bemerkt, ist alsdann die Wirkung dieses Stofses, während unter Voraussetzung des todten Drucks diese Erscheinung unerklärlich bleibt.

Einige Erfahrungen über andre auffallende Wirkungen eines heftigen Wellenschlages mögen hier ihre Stelle finden.

Als die Swinemünder Ostmole noch mit keiner Brustmauer versehn war, vielmehr die Krone, die sich etwa 8 Fufs über Mittelwasser erhob, an beiden Seiten in sanfter Krümmung sich an die Dossirungen anschlofs, brachen dagegen wohl die Wellen, aber bei hohem Seegange schlugen sie, ohne hoch aufzuspritzen, in den Hafen. Nachdem indessen eine Brustmauer von 5 Fufs Höhe an der Seeseite aufgestellt ist, so hebt sich die Welle, zum Theil aufgelöst in Tropfen, so hoch, dafs sie oft die um 60 Fufs höhere Winkbaake ganz umgiebt. Bei einem sehr heftigen Weststurm im October 1828 kam eine auf der Rhede vor Pillau ankernde Brigg ins Treiben, und da sie weder fortsegeln, noch über die Barre im Seegatt gehn konnte, so wurden die Segel beigesetzt, das Ankertau gekappt und vor dem Winde lief sie auf den Strand. Als sie zum ersten mal den Grund berührte und plötzlich still stand, erhob sich das Wasser der nächsten Welle so hoch, dafs es die Bramstengen überragte, also nach späterer Untersuchung über 70 Fufs. Diese Welle warf aber das Schiff über das Riff, woher die folgenden Wellen es nicht mehr so heftig trafen. Vielfach hat man auch anderweit ein so hohes und noch bedeutend höheres Aufspritzen des Wassers bemerkt. An der Küste von Cornwall sah man es bis 300 Fufs ansteigen, und bei Wasberg in Norwegen sogar bis 400 Fufs.

Aus der Krone der Ostmole bei Swinemünde, nachdem die Brustmauer bereits aufgeführt war, sah man einen Stein von etwa 4 Cubikfufs Inhalt, der aber ziemlich flach war, aus dem Pflaster

gerissen, und umgekehrt daneben liegen. Ohne Zweifel hatte die jenseit der Mauer ansteigende Welle das zwischen den Schüttsteinen befindliche Wasser, auch wohl die Luft darüber so stark gedrückt, dafs der Stein aufgehoben wurde. So geschieht es auch, dass, wenn zufälliger Weise andre Auswege nicht offen sind, das Wasser durch die Fugen des Pflasters heraus spritzt. Im Hafen Ciotat, wo eine Kaimauer auf der Binnenseite den Hafendamm begrenzt, und die Krone desselben bis zur Brustmauer übermauert ist, verursachte der periodisch eintretende Druck der Wellen solche Zerstörungen, dafs man sich gezwungen sah, jene Kaimauer in mäfsigen Abständen mit Oeffnungen zu versehn, durch welche das Wasser, wie die Luft in solchem Falle entweichen konnte.

Endlich mufs noch einer höchst eigenthümlichen Wirkung der Wellen gedacht werden, die jedoch nur in einem einzigen Falle wahrgenommen, und sonst niemals bemerkt ist. Der Edystone-Leuchtthurm steht auf einer ilolirten Klippe ohnfern Plymouth im Canal und ist bei heftigen Weststürmen einem so starken Wellenschlage ausgesetzt, dafs er von den dagegen brechenden Wogen zuweilen ganz verdeckt wird, wiewohl er sich einige neunzig Fufs über gewöhnliches Hochwasser erhebt. Die Eingangsthür zu demselben, von der eine eiserne Leiter bis zur Klippe herabführt, liegt in der Schwelle 27 Fufs über Hochwasser, und ist gegen den Stofs der Wellen sehr sorgfältig gesichert, woher sie auch nach Aufsen aufschlagen mufste. Diese Thür wurde nun bei einem heftigen Sturm im Jahr 1840 eingedrückt, aber nicht nach Innen, sondern nach Aufsen. Die sehr starken eisernen Bänder, an welchen sie hing, zerbrachen, und sie stürzte herab.

An eine Verdichtung der Luft im Innern ist gewifs nicht zu denken, Walker setzt daher eine Verdünnung der Luft von Aufsen voraus. Er ist nämlich der Ansicht, wie Stevenson erwähnt, dafs „der plötzlich rückwärts gekehrte Zug (back draught) beim Niedersinken der hohen Welle eine gewisse Verdünnung der umgebenden Luft veranlafst.“ Diese Erklärung ist nicht verständlich, vielleicht soll sie bedeuten, dafs in dem Moment, wo die Welle neben der Mauer ihre gröfste Höhe erreicht, und zugleich gegen das folgende Wellenthal eine sehr steile Neigung angenommen hat, sie mit grofser Heftigkeit in dieses sich stürzen

würde, wenn nicht der äufsere Luftdruck ihre plötzliche Entfernung von der Mauer verhinderte. In der That können nur die äufsern Wasserschichten frei abfliefsen, während die hintern sich zwar senken, aber an der Seitenbewegung nicht früher Theil nehmen, als bis beim Sinken des Wassers von oben her die Luft hinzutritt.

Indessen steht auch dieser Erklärung eine andre Auffassung der Verhältnisse entgegen. Man denke nämlich, dafs nach der vollen Erhebung der Welle vor der Mauer, oder auch selbst wenn die Senkung bereits begonnen hat, die Mauer sich in eine bewegliche Wand verwandelte, so würde dieselbe ohnfehlbar von der Wasserseite her noch gedrückt werden, und unmöglich könnte sie in entgegengesetzter Richtung einen Druck erfahren.

Stevenson sagt selbst, diese Erscheinung sei „fast unglaublich“, und gewifs rechtfertigt sich die Frage, ob das Brechen der Eisenbeschläge und das Herabfallen der Thür nicht vielleicht in ganz andrer Art erfolgt sein mag. Eine Erklärung dieser Art liegt sehr nahe, wenn man annimmt, dafs die Wellen einen Stein von der Klippe lösten, und diesen gegen die Thür warfen, auch dafs sie alsdann die dadurch bereits gelockerte Verbindung durch fortgesetzte Stöfse vollständig aufhoben.

Stevenson bringt indessen hiermit noch eine andre Wirkung der Wellen in Verbindung, die er gleichfalls durch die Verdünnung der Luft erklärt, und die allerdings nicht selten eintritt. Sie bezieht sich darauf, dafs einzelne Steine und selbst vermauerte Quadern aus denjenigen Flächen der Hafendämme herausgerissen werden, die dem Stofs der Wellen zugekehrt sind. Auch bei unsern Häfen hat sich dieses wiederholentlich gezeigt, und es entstanden zuweilen grofse Höhlungen wenig über der Höhe des mittleren Wasserstandes an solchen Stellen, wo der unreine Grund die Darstellung des dichten Schlusses in der umgebenden Pfahlwand verhindert hatte. Diese Erscheinung wurde indessen ohne Zweifel durch das in den Damm eindringende und wieder zurückfliefsende Wasser veranlafst. Der Druck der davor sich erhebenden Welle füllt alle Zwischenräume der Schüttung, oder auch wohl der nicht mit der nöthigen Vorsicht ausgeführten Mauer mit Wasser an, und zwar geschieht dieses so gewaltsam, dafs man, wie bereits erwähnt, letzteres durch die Fugen hoch aufspritzen sieht.

Sobald darauf aber das Wellenthal an den Damm tritt, so fliefst es, der Niveau-Differenz entsprechend, wieder zurück, und reifst dabei alle Steine mit sich fort, die nicht hinreichend sicher gebettet sind, oder theilt ihnen wenigstens einen schwachen Impuls mit, wodurch sie schliefslich die Unterstützung verlieren und der Strömung folgen.

§ 7.

Fluth und Ebbe im Ocean.

Unabhängig von den vorstehend untersuchten Wellen, die in geringen Entfernungen sich hinter einander bilden, und deren Länge und Geschwindigkeit, so wie die Richtung ihrer Bewegung man leicht wahrnehmen kann, giebt es in den grofsen Meeren noch andre Wellen, die noch schneller fortschreiten, und deren Länge so riesenmäfsig ist, dafs man sie nur an dem langsamen Steigen und Fallen des Wassers erkennt. Dieses ist die Fluth und Ebbe.

An den Europäischen Küsten des Atlantischen Oceans and der Nordsee erhebt sich zweimal am Tage der Wasserspiegel durchschnittlich vielleicht 12 Fufs, und sinkt zweimal wieder eben so tief herab. Die Sandbänke und Schlickgründe vor den Häfen und Strömen werden dadurch abwechselnd überfluthet und mehr oder weniger trocken gelegt. Der Wasserstand auf denselben ist daher so verschieden, dafs die meisten der dortigen Häfen nur zur Zeit des Hochwassers zugänglich sind. Die Fluth und Ebbe ist demnach für den Schiffahrts-Betrieb von der äufsersten Bedeutung und dieses um so mehr, als der Wasserwechsel auch starke Strömungen veranlafst, welche bald in einer und bald in der andern Richtung sich bilden.

Diese Strömungen verbunden mit dem Wellenschlage, der bei dem wechselnden Wasserstande sehr verschiedene Angriffspunkte findet, äufsern auf jedes Ufer wieder zerstörende Wirkungen. Indem das abgebrochene Material aber vom Strom weitergetrieben wird, so kann sich an der offenen Küste nur selten eine Ablagerung bilden, welche den Uferrand vor neuen Angriffen schützt, und der Abbruch setzt sich meist immer weiter fort. An den

grofsen Meeren, welche starken Fluthwechsel zeigen, haben solche Ablagerungen zuweilen unter andern Verhältnissen sich früher gebildet, doch sieht man sie gegenwärtig abbrechen und das Ufer nach und nach weiter zurücktreten. Nur der gewachsene Felsboden, obwohl er auch fortwährend angegriffen wird, bestimmt vorzugsweise dem Meere seine Grenzen, und zwischen solchen Festpunkten zieht sich ein flacher Strand, aus Kies oder Sand bestehend, hin, der grofsentheils aber wieder in einer langsamen fortschreitenden Bewegung begriffen ist. In Meeren, wie die Ostsee, die keine merkliche Fluth und Ebbe, noch auch die damit verbundenen starken Strömungen zeigen, ist das Verhältnifs insofern ein andres, als die Zerstörungen langsamer vor sich gehn, woher man hier in der Ausdehnung von Hunderten von Meilen ohne Unterbrechung aufgeschwemmten Boden oder Kreide sieht, der aber auch in stetem Abbruch begriffen ist, wenn nicht künstlich für seine Erhaltung gesorgt wird.

Die erwähnten Strömungen setzen, besonders wenn der Wellenschlag ihre Wirkungen unterstützt, den Sand, den Kies und selbst mäfsige Steine in Bewegung, und treiben sie oft auf weite Entfernung fort. Sie bieten sonach ein Mittel, dieses Material an mehr geschützten Stellen aufzufangen und dadurch künstlich Alluvionen zu schaffen. Andrerseits bildet dieser Strom, namentlich in engeren Canälen und in den Mündungen der Meerbusen und Flüsse, tiefe Fahrwasser, die eben sowol bei der Fluth, wie bei der Ebbe gespült werden, und sich mehr oder weniger von selbst offen erhalten. Endlich kann man auch, wenn man in geräumigen Bassins das Hochwasser auffängt, und es zur Zeit des niedrigen Wassers abfliefsen läfst, sehr kräftige Strömungen erzeugen, die zum Spülen der Hafenmündungen mit Vortheil benutzt werden.

Dafs diese grofsartige, für den Hafen- und Uferbau so wichtige Erscheinung der Fluth und Ebbe sich in regelmäfsigen Perioden wiederholt, die von der Witterung im Allgemeinen unabhängig sind, war schon im frühesten Alterthum bekannt, auch bemerkte man schon damals die Beziehung zwischen dieser Erscheinung und dem Stande des Mondes und der Sonne gegen die Erde, doch blieb die Erklärung des Phänomens Newton vorbehalten. Der wahre Zusammenhang liefs sich nicht früher erkennen, als bis man eingesehn hatte, dafs keine andre Kraft,

als die Schwere, sowohl die Erde als den Mond in ihren Bahnen erhält.

Die Periode, in welcher das Steigen und Fallen des Wassers erfolgt, ist nicht genau ein halber Tag, sondern umfafst einen etwas längern Zeitraum. Der Eintritt der dritten Fluth verzögert sich ungefähr um 50 Minuten, oder erfolgt um soviel später am nächsten Tage. In 28 bis 29 Tagen trifft sonach das Hochwasser wieder in dieselbe Tages-Stunde. Dieses ist keine andre Periode, als die der Bewegung des Mondes um die Erde. Dabei giebt sich noch eine zweite sehr auffallende Beziehung der Fluth zum Monde zu erkennen, nämlich wenige Tage nach den Voll- und Neumonden ist der Wasserwechsel am gröfsten, nach dem ersten und letzten Viertel dagegen am kleinsten. Hieraus ergiebt sich schon, dafs auch die Sonne auf die Erscheinung Einflufs hat. Die sorgfältigen Beobachtungen, die man in neuerer Zeit an vielen Orten regelmäfsig anstellt, zeigen diesen Einflufs noch unverkennbarer. Der Wasserwechsel ist nämlich, abgesehn von der gegenseitigen Stellung der Sonne und des Mondes, auch um so gröfser, je näher diese beiden Himmelskörper, oder einer derselben der Erde ist, und je geringer ihre Declinationen sind. Die stärksten Fluthen treten daher in den Voll- und Neu-Monden zur Zeit der Aequinoctien ein.

Bevor die Erklärung der Erscheinung gegeben wird, ist es nöthig, einige allgemein eingeführte Benennungen festzustellen. Das Steigen des Wassers nennt man die Fluth, das Fallen dagegen die Ebbe. Zwischen beiden tritt eine Periode des Stillstandes ein, die an manchen Orten länger, an andern kürzer ist, oft nur wenige Minuten beträgt, unter besondern localen Verhältnissen sich aber auf mehrere Stunden ausdehnt. Diese Periode ist entweder Hochwasser oder Niedrigwasser. Den Höhenunterschied zwischen diesen beiden Wasserständen nennt man zuweilen Fluthhöhe. Dieser Ausdruck veranlafst aber leicht Mifsverständnisse, indem er auch zugleich diejenige Höhe am Pegel bezeichnet, welche die Fluth erreicht. Passender ist daher die Benennung Fluthwechsel, die gleichfalls bereits eingeführt ist.

Gemeinhin findet während der Fluth die Strömung in andrer und meist in entgegengesetzter Richtung statt, als während der Ebbe, und man pflegt zuweilen unter Fluth und Ebbe auch die

Richtung des Stroms zu verstehn. Das Aufhören der Strömung, oder das Umsetzen oder Kentern des Stroms ist alsdann die Grenze zwischen beiden Erscheinungen. An offnen Meeresküsten erfolgt dieses gewöhnlich zur Zeit des höchsten und des niedrigsten Wassers, in welchem Fall jene Worte nach den beiden erwähnten Bedeutungen dieselbe Periode bezeichnen. In den untern Stromstrecken verhält es sich aber anders. Der Ebbestrom ist nach der See gekehrt, der Fluthstrom entgegengesetzt, und insofern der Zuflufs aus dem obern Lande ununterbrochen fortdauert, so steigt das Wasser oft schon sehr merklich, während der Ebbestrom noch stattfindet. Es giebt sogar bei jedem Strom eine gewisse Strecke, oft von bedeutender Ausdehnung, in welcher man das Steigen und Fallen des Wassers sehr deutlich wahrnehmen kann, wo also nach der ersten Bedeutung der Worte, Fluth und Ebbe unverkennbar stattfindet, während nichts desto weniger ein aufwärts gekehrter Fluthstrom gar nicht eintritt. Nach der letzten Bedeutung würde man also in diesem Fall von Fluth und Ebbe nicht sprechen können.

Die Fluthen in den Voll- und Neumonden, oder in den Syzygien, die besonders stark sind, nennt man Springfluthen, dagegen diejenigen in dem ersten und letzten Mondviertel, oder in den Quadraturen todte oder taube Fluthen. Der Ausdruck Aequinoctial-Fluthen bedarf keiner Erklärung.

Die Stunde, in welcher am Tage des Vollmondes oder Neumondes das Hochwasser in einen Hafen eintritt, nennt man die Hafenzeit (Etablissement). Die Kenntnifs derselben ist für den Schiffer, der den Hafen ansegeln will, von grofser Wichtigkeit. Indem er aber für jeden folgenden Tag 50 Minuten hinzusetzt, so kann er leicht jedesmal die Zeit des Hochwassers berechnen, sobald er die Hafenzeit kennt.

Vergleicht man die Hafenzeiten benachbarter Häfen mit einander, so findet man, dafs sie unter sich nahe übereinstimmen, und hieraus ergiebt sich, dafs die Fluthen von grofsen Wasserwellen herrühren, welche bedeutende Theile der Erdoberfläche umfassen. Das Fortschreiten dieser Wellen ist aus den Hafenzeiten zu erkennen, aber es zeigt so grofse Unregelmäfsigkeiten und ist so sehr durch die Gestaltung der Küsten bedingt, dafs man aus einzelnen Beobachtungen die Erscheinung weder im

Ganzen auffassen, noch auch erklären konnte. Die Welle läuft eben sowol nach Westen, wie nach Osten, und wenn sie an der Europäischen Küste des Atlantischen Oceans auch vorzugsweise nach Norden gekehrt ist, so bewegt sie sich an einzelnen Stellen auch wieder südwärts.

Nachdem in neuerer Zeit eine frequente Schiffahrt sich über alle Meere ausgedehnt hat, soweit sie irgend ein merkantilisches Interesse bieten, und man die Hafenzeiten aller Küsten wenigstens annähernd kennen gelernt hatte, so ergaben die Zusammenstellungen derselben, wovon später die Rede sein wird, dafs die eigentliche Quelle der Fluth und Ebbe nur in der südlichen Hemisphäre jenseits der Vorgebirge, welche Afrika und Amerika im Süden abschneiden, zu suchen ist. Dort bewegen sich gleichzeitig zwei mächtige Fluthwellen mit einer Geschwindigkeit, die nahe der Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erde gleichkommt, und die in der Periode eines Mondes-Tages ihren Kreislauf vollenden. Die Fluthen in der Nordsee und selbst im Atlantischen Ocean sind nicht ursprüngliche Erscheinungen, sondern nur Fortsetzungen jener Wellen-Erhebungen, die im südlichen Weltmeer erfolgen. Die grofse Ausdehnung des letztern und vor Allem die Abwesenheit zusammenhängender Landmassen, welche die Wellen unterbrechen würden, macht es schon an sich wahrscheinlich, dafs die Fluthwelle sich dort am vollständigsten ausbildet.

Die Kräfte, durch welche diese Wellen ursprünglich angeregt wurden, und durch welche sie dauernd erhalten und alle Widerstände überwunden werden, indem sie in den Atlantischen und in den Stillen Ocean und durch diese in zahllose Buchten und kleinere damit verbundene Meere eintreten, sind nach der von Newton zuerst gegebenen Erklärung nichts andres, als die S c h w e r e oder die allen materiellen Stoffen gemeinsame gegenseitige Anziehung.

Fig. 15 stelle in S den Mittelpunkt der Sonne, in C den der Erde dar. Indem letztere sich um die erstere bewegt, so würde die Erde der Richtung des Weges folgen, den sie momentan durchläuft, wenn keine Kraft auf sie einwirkte. Sie würde die Tangente nicht verlassen und geradlinig das Universum durchschneiden. Es besteht aber g e g e n s e i t i g e A n z i e h u n g zwischen Sonne und Erde, die letztere fällt also fortwährend der ersteren zu,

so wie umgekehrt, jedoch wegen der viel gröfsern Masse in weit geringerem Grade, auch die Sonne gegen die Erde. Beide beschreiben daher gewisse geschlossene Bahnen. Die verschiedenen Massentheilchen des Erdballs werden aber nicht in gleicher Weise von der Sonne angezogen, denn die Stärke der Anziehungskraft ist von der Entfernung der beiden sich anziehenden Körper abhängig, und zwar ist diese Kraft umgekehrt dem Quadrat des Abstandes proportional. Sonach erleidet derjenige Theil der Erdoberfläche, welcher der Sonne zugekehrt ist, eine stärkere Anziehung, als der Mittelpunkt der Erde, und dieser eine stärkere, als der von der Sonne abgekehrte Theil.

Wäre die Erde ein fester Körper, der keine Formveränderung zuliefse, oder der wenigstens bei geringen Differenzen der Anziehung eine verschiedenartige Bewegung der einzelnen Theilchen durch ihre gegenseitige Cohäsion oder auch durch Reibung verhinderte, so würde die Erde mit der Geschwindigkeit, welche dem Abstande des Schwerpunktes entspricht, in ihrer ganzen Masse, ohne dafs die Theilchen besondere Bewegungen annehmen, der Sonne sich nähern. Die Erde ist indessen grofsentheils mit Wasser bedeckt, dessen leichte Beweglichkeit ihm gestattet, seine Form zu verändern. Obwohl es sich von der Erde nicht trennt, kann es dennoch schneller oder langsamer nach der Sonne fallen, als der feste Theil des Erdkörpers. Auf diese Weise erhebt sich die Wasserfläche im Punkte A, indem sie stärker, als der Schwerpunkt der Erde angezogen wird, und sie erhebt sich ebenso auch im Punkte B, weil sie hier die geringste Anziehung erfährt. So bilden sich an entgegengesetzten Theilen des Erdballs zwei Anschwellungen, oder es stellt sich hier gleichzeitig Hochwasser ein, während in den Punkten D und F nicht nur keine Erhebung erfolgen kann, sondern sogar eine Senkung eintreten mufs, die jenen Anschwellungen entspricht. Die Drehung der Erde um ihre Achse veranlafst aber, dafs die Anschwellungen fortwährend weiter rücken. Beide Wellen laufen daher nahe mit der Geschwindigkeit der Umdrehung der Erde in einer Richtung, die dieser entgegengesetzt ist, oder sie bewegen sich in derselben Richtung, in welcher die Sonne scheinbar die Erde umkreist.

Die Fluth, welche der Mond veranlafst, ist wie bereits erwähnt gröfser, als die der Sonne, woher nicht der gewöhnliche,

sondern der Mondes-Tag die Fluth bedingt. Die Einwirkung des Mondes ist aber der so eben beschriebenen vollkommen gleich, und die Sonne wurde nur deshalb bei dieser Erklärung zuerst erwähnt, weil das Verhältnifs in sofern etwas einfacher ist, als mit Rücksicht auf die beiderseitigen Massen das Fallen der Erde sich klarer darstellt, und die Bewegung der Sonne nicht weiter beachtet werden durfte.

Der Mond bewegt sich zwar um die Erde, aber abgesehn von der Bewegung der letztern um die Sonne ist auch die Erde in dem Weltraum keineswegs in irgend einer Art befestigt. Die Anziehung zwischen ihr und dem Monde wirkt daher gleichfalls gegenseitig, und beide bewegen sich nach Maafsgabe ihrer Massen fortwährend gegen einander. Wegen der veränderten Stellung des Mondes verändert sich auch stets die Richtung dieser Bewegung der Erde, und wenn der Mond scheinbar wieder an denselben Punkt zurückgekommen ist, so hat auch die Erde den entsprechenden Kreis beschrieben, dessen Ausdehnung mit Rücksicht auf die geringe Masse des Mondes nicht bedeutend ist. Nichts desto weniger ergiebt sich hieraus, dafs die Erde fortwährend vom Monde angezogen wird, und dieser Anziehung auch folgt. Das Massentheilchen *B* wird aber vom Monde *M* stärker angezogen, als der Mittelpunkt *C*, und das Theilchen *A* schwächer. Jenes eilt also der Erde vor, und dieses bleibt hinter ihr zurück. Der Mond verursacht daher eben so, wie die Sonne, zwei gegenüberstehende Fluthwellen, die bei der Drehung der Erde um ihre Achse wieder übereinstimmend mit der scheinbaren Bewegung der Gestirne von Osten nach Westen laufen.

Hat der Mond die in der Figur angedeutete Stellung, oder steht er der Sonne gegenüber, wobei Vollmond statt findet, so vereinigt sich die Fluthwelle, die vom Monde herrührt, mit derjenigen, welche die Sonne verursacht. Die Fluth setzt sich also aus beiden zusammen, und wird dadurch höher, als jede einzeln ist. Dasselbe ist auch der Fall zur Zeit des Neumondes, oder wenn der Mond in der Verbindungslinie, die von der Erde nach der Sonne gezogen wird, zwischen beiden sich befindet.

Zur Zeit des ersten oder letzten Viertels steht der Mond dagegen, von der Erde gesehn, um einen Quadranten von der Sonne entfernt, also in *M'*. Er bildet alsdann in den

Punkten *F* und *D* Hochwasser, während die Fluthwellen, die von der Sonne herrühren, ihre Scheitelpunkte in *A* und *B* haben, und in *D* und *F* Niedrigwasser darstellen. Der Wasserwechsel in den ersten und letzten Vierteln ist also nur die Differenz zwischen der Fluthhöhe des Mondes und derjenigen der Sonne. Er würde in diesem Fall ganz verschwinden, wenn beide gleich grofs wären.

Es könnte noch zweifelhaft sein, ob durch die Bewegung der Erde sowohl in der Richtung nach der Sonne, als nach dem Monde, die Ausbildung der beiden entsprechenden Fluthwellen nicht gehindert wird, dieses ist indessen keineswegs der Fall. Wie die Stellung des Mondes gegen die Sonne auch immer sein mag, so wird der Mond sehr nahe in derselben Weise, wie die Erde, von der Sonne angezogen, beide sind daher einer gleichen Wirkung unterworfen, oder diese stört nicht ihr gegenseitiges Verhalten, also auch nicht die Ausbildung der vom Monde herrührenden Fluthwellen. Andrerseits verhindert die Sonne wieder nicht die von ihr ganz unabhängige Bewegung der Erde gegen den Mond, also auch nicht die Fluthen, welche derselbe veranlafst.

Eine einfache Betrachtung ergiebt, dafs die von dem Monde herrührende Fluth bedeutend stärker sein mufs, als diejenige, welche die Sonne verursacht, auch läfst sich leicht das Verhältnifs beider feststellen. Man darf annehmen, dafs die Fluth, oder die Höhe, zu der das Wasser ansteigt, der fluth-erzeugenden Kraft proportional ist. Letztere ist aber nichts andres, als die Differenz der Attractionen, welche der Erdkörper als zusammenhängende Masse, und die nächsten oder entferntesten Theilchen desselben erfahren. Die Attraction ist proportional der Masse des anziehenden Körpers und umgekehrt proportional dem Quadrat seines Abstandes von der Erde. Wenn sonach diese Masse durch *P* und der Abstand durch *a* bezeichnet wird, so ist die Attraction

$$= m \frac{P}{a^2}$$

wobei *m* eine Constante bedeutet.

Ist nun *a* der Abstand des Mittelpunktes der Erde von dem anziehenden Körper und *r* der Halbmesser der Erde, so bezeichnet

jener Ausdruck nichts andres, als die Kraft, womit die ganze Erde als fester Körper afficirt wird, oder diejenige Schwerkraft, welche die Geschwindigkeit ihres Fallens nach dem fremden Himmelskörper bedingt. Der Theil der Erdoberfläche, welcher diesem Körper zugekehrt ist, erfährt dagegen eine Anziehung

$$= m \frac{P}{(a-r)^2}$$

und der gegenüber befindliche, oder vom anziehenden Körper abgekehrte Theil der Oberfläche

$$= m \frac{P}{(a+r)^2}$$

Die Kraft, welche die Fluthen erzeugt, ist für den erstern

$$= m P \left(\frac{1}{(a-r)^2} - \frac{1}{a^2} \right)$$

und für den letztern

$$= m P \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{(a+r)^2} \right)$$

Indem r sehr klein gegen a ist, so verschwindet $\frac{r}{a}$ gegen 1. Dadurch werden beide Ausdrücke einander gleich und verwandeln sich in

$$= m P \,.\, \frac{2r}{a^3}$$

Die flutherzeugende Kraft verhält sich also zu der Anziehungskraft, die der Mittelpunkt der Erde erfährt, wie

$$\frac{2r}{a^3} : \frac{1}{a^2} \text{ oder wie } 2r : a$$

also wie der Durchmesser der Erde zum Abstande des anziehenden Himmelskörpers. Diese Kraft ist jedenfalls nur sehr klein vergleichungsweise gegen die Anziehung des letztern.

Setzt man die Masse der Erde und ihren Halbmesser gleich Eins, oder misst man in diesen Einheiten die Gröfsen P und a, so stellen sich die sämmtlichen einwirkenden Kräfte in einfachen Beziehungen zu der Schwere auf der Erdoberfläche dar. Wenn der Weg, den ein auf der letztern frei herabfallender Körper in der ersten Secunde durchläuft, mit g bezeichnet wird, so ist die Anziehungskraft der Erde nach der ersten Gleichung

$$m \frac{P}{a^2} = g$$

und da in diesem Fall sowol P, als a gleich Eins sind, so folgt

$$m = g = 15{,}63 \text{ Fufs.}$$

Nach denselben Maafs- und Gewichts-Einheiten, oder vergleichungsweise zu der Masse und dem Halbmesser der Erde ist*)

für die Sonne $P = 354940$
und $a = 24054$
für den Mond $P = 0{,}0108$
und $a = 60{,}3$

Die flutherzeugende Kraft der Sonne gegen die ihr zu- oder abgekehrte Seite der Erde ist daher

$$m P \frac{2r}{a^3} = \frac{2 g P}{a^3}$$
$$= 0{,}00000005101 \, . \, g$$
$$= 0{,}0001146 \text{ Linien,}$$

die flutherregende Kraft des Mondes dagegen

$$= 0{,}00000009852 \, . \, g$$
$$= 0{,}0002213 \text{ Linien.}$$

Hieraus ergiebt sich, dafs die Kraft des Mondes und sonach auch die Höhe des von ihm herrührenden Fluthwechsels zu derjenigen der Sonne ungefähr, wie 2 : 1 sich verhält. Wenn die erste also beispielsweise 10 Fufs beträgt, so wird die letzte nur 5 Fufs sein, und der Wasserwechsel zur Zeit der Springfluthen wird 10 + 5 = 15 Fufs, zur Zeit der todten Fluthen dagegen nur 10 — 5 = 5 Fufs messen**). Dieses Verhältnifs zwischen den Springfluthen und todten Fluthen tritt zuweilen und namentlich an der Küste des Atlantischen Oceans wirklich ein, wie sich aus den Fig. 16 graphisch dargestellten Cherbourger Beobachtungen vom 12. März bis 16. April 1831 ergiebt. Die obere Curve bezeichnet die Höhen des an jedem Tage zweimal eintretenden Hochwassers, die untere dagegen, an demselben Pegel gemessen, die dazwischen liegenden Niedrigwasser. An der Nordsee ist der Unterschied zwischen beiden viel geringer.

---

*) Hansen, allgemeine Uebersicht des Sonnen-Systems in Schumacher's Jahrbuch für 1837.

**) Ein sehr interessanter Vortrag über Fluth und Ebbe von Bessel ist sowol in Schumacher's Jahrbuch für 1838, als auch in Bessel's „populären Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, Hamburg 1848" abgedruckt.

Dafs der Mond in allen Fällen von überwiegendem Einfluss ist, ergiebt sich vorzugsweise daraus, dafs das Hochwasser an jedem Orte in einer beinahe constanten Stundenzahl nach der Culmination des Mondes eintritt. Die Sonne hat darauf zwar auch einigen Einfluss, doch beschränkt derselbe sich im Maximum auf 44 Minuten. Das Hochwasser geht nämlich der Culmination des Mondes voran oder folgt ihr um soviel Minuten, als die zweite Spalte der nachstehenden Tabelle angiebt, wenn die Sonne um die Stundenzahl der ersten Spalte vor oder nach dem Monde über oder unter dem Horizont in den Meridian tritt.

Bei	0 Stunden ändert sich die Hafenzeit	0	Minuten
-	1 - - - - -	16	-
-	2 - - - - -	31	-
-	3 - - - - -	41	-
-	4 - - - - -	44	-
-	5 - - - - -	31	-
-	6 - - - - -	0	-

Es ist gewiss überraschend, dafs die mächtigen Fluthwellen durch solche überaus geringfügige und in allen übrigen Erscheinungen gar nicht wahrnehmbare Kräfte veranlafst werden. Diese Kräfte bewegen nämlich einen ihrer Einwirkung freigestellten Körper, je nachdem sie von der Sonne, oder vom Monde ausgehn, in einer Secunde nur durch den 9000ten oder 4500ten Theil einer Linie. Sie sind in der That bei allen Erscheinungen auf der Erdoberfläche wirksam, oder wirken der Kraft der Schwere periodisch entgegen, doch wird letztere nur etwa um den millionsten Theil dadurch vermindert. Hieraus erklärt es sich, dafs man diese periodischen Aenderungen sonst gar nicht bemerkt. Die genausten Bestimmungen des Maafses der Schwere oder des Werthes von g ergeben sich aus der Länge des Secunden-Pendels, aber die Genauigkeit, die man hierbei erreichen kann, entspricht noch nicht der Gröfse eines so kleinen Bruchs. Auch die aus dieser Veränderung der Schwere entspringende periodische Beschleunigung und Verzögerung des Ganges unsrer Uhren, die man aus den astronomischen Beobachtungen am sichersten erkennen müfste, entzieht sich wegen ihrer Geringfügigkeit noch vollständig unsrer Wahrnehmung. Die Uhren in den Sternwarten folgen, soweit die Schärfe der Beobachtung reicht, genau den scheinbaren

Bewegungen der Fixsterne, also der Umdrehung der Erde. Es läfst sich auch leicht übersehn, dafs die Abweichungen in Folge dieser Veränderung der Schwere noch kleiner sind, als die Zeit- oder Raum-Unterschiede, die wir mit unsern Sinnen wahrnehmer können.

Vorstehende Untersuchung bezieht sich auf die Voraussetzung, dafs die ganze Erde mit Wasser bedeckt sei, und dafs aufserdem sowol die Sonne wie der Mond in der Ebene des Erd-Aequators sich befinden. Beide Voraussetzungen sind nicht richtig. Die Schwingungen der Fluth und Ebbe können sich, wie auch die Beobachtungen ergeben, nur in der südlichen Hemisphäre jenseit der von Amerika und Afrika aus vortretenden Landspitzen ausbilden, und ohne Zweifel werden ihre Effecte hierdurch bedeutend abgeschwächt. Indem die Sonne sich aber periodisch bis nahe $23\frac{1}{2}$ Grad von der Ebene des Aequators entfernt, und die Ebene der Mondbahn noch über 5 Grade von der der Ecliptik abweicht, so vermindern sich die Attractionskräfte derselben zuweilen noch mehr. Die hieraus sich ergebenden Aenderungen werden bei Berechnung der Fluthtabellen zwar berücksichtigt, es würde indessen zu weit führen, an dieser Stelle hierauf näher einzugehn*).

Der Fluthwechsel beträgt, wie bereits erwähnt, an den Europäischen Küsten des Atlantischen Oceans durchschnittlich etwa 12 Fufs, stellenweise und namentlich in weiten und regelmäfsig sich verengenden Buchten und in Strommündungen wird er viel gröfser. Wenn man hiervon absieht und annimmt, wie die Beobachtungen an isolirten Inseln vermuthen lassen, dafs der Unterschied zwischen dem hohen und niedrigen Wasser im offenen Meere und zwar unter dem Aequator nur 3 Fufs beträgt, und setzt man voraus, dafs dieser Unterschied mit den geographischen Breiten sich vermindert und unter den Polen ganz verschwindet, so überzeugt man sich leicht, dafs bei jedem Fluthwechsel, also in $6\frac{1}{4}$ Stunden, 200 Cubikmeilen Wasser aus einem Erdquadrant in den andern übertreten. Diese Wassermasse nimmt aber keineswegs die Geschwindigkeit der Fluthwelle an, indem sie derselben

*) In dem Werk von Hugo Lentz „von der Fluth und Ebbe des Meeres“, Hamburg 1873, ist dieser Gegenstand ausführlicher behandelt, auch sind darin die Resultate von Lubbock's Untersuchungen mitgetheilt.

folgt, die Bewegung geschieht vielmehr in gleicher Weise, wie in gewöhnlichen Wellen bei grofser Tiefe. Die einzelnen neben einander stehenden Wasserfäden schwingen rechts und links, indem sie zugleich abwechselnd sich verlängern und verkürzen. Die Periode ihrer Schwingung ist freilich übermäfsig ausgedehnt, daher die Bewegung im offenen Meere unmerklich klein, aber jeder Wasserfaden kehrt nach 12 Stunden wieder in seine ursprüngliche Stellung zurück, ohne dieselbe dauernd zu verlassen.

Alle Versuche, die man bisher gemacht hat, die Dimensionen der Erscheinung aus den allgemeinen Gesetzen der Mechanik und aus den astronomischen und geodätischen Messungs-Resultaten herzuleiten, haben noch keinen Erfolg gehabt. Eben so wenig, wie man im offenen Meere, also ganz unabhängig vom Einfluss der Küsten, die Höhe der Fluthwelle oder die Gröfse des Fluthwechsels messen kann, so ist die Bestimmung desselben auch durch Rechnung nicht geglückt, selbst wenn man die Erde als ein rings mit Wasser bedecktes Sphäroid ansieht.

Euler*) fafste die Aufgabe unter dem Gesichtspunkte auf, dafs die Erde vollständig von einer Wasserschicht umgeben ist, aber nicht rotirt, während sie von der Attraction des Mondes afficirt wird. Hieraus fand er für die dem Monde zu- oder abgekehrte Seite eine Erhebung von 3 Fufs.

La Place's Untersuchungen**) über Fluth und Ebbe sind von gröfserer Bedeutung. Sie stellen den Zeitunterschied für den Eintritt des Hochwassers und für das Verhältnifs der Fluthhöhen bei Springfluthen und todten Fluthen, so wie deren Abhängigkeit von der Entfernung und der Declination des Mondes und der Sonne mit grosser Schärfe dar. Auf Veranlassung der Pariser Academie der Wissenschaften waren bereits im Anfange des 18. Jahrhunderts während sechs Jahren im Hafen von Brest die Fluthen und Ebben beobachtet worden. Indem die weite Bucht, welche diesen Hafen bildet, nur durch eine beschränkte Oeffnung mit dem Atlantischen Ocean in Verbindung steht, so verschwin-

*) In den neuen Commentarien der Petersburger Academie, übersetzt und zusammengestellt von Brandes, unter dem Titel: Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper. Leipzig 1806. Seite 90.

**) Traité de mécanique céleste. Vol. II. Liv. IV.

den daselbst die kleinern zufälligen Schwankungen, und die Erscheinung des Fluthwechsels stellt sich in gröfserer Regelmäfsigkeit dar. Auf La Place's Antrag wurde ebendaselbst 1806 eine neue Beobachtungsreihe begonnen und bis 1815 fortgesetzt. La Place bedauert es, dafs diese neuen Messungen in dem unsichern Meter-Maafs angestellt, sich einer scharfen Vergleichung mit den frühern entziehn. Nichts desto weniger gelangte er zu sehr wichtigen Resultaten.

Indem er von dem Grundsatz ausging, dafs die Bewegungen eines Systems von Körpern, wenn die Widerstände den Kräften entsprechen, also keine dauernde Beschleunigung stattfindet, eben so periodisch sind, wie die Kräfte, welche sie veranlassen, so gelangte er zu einer Anzahl verschiedener Perioden, in welchen die Sonne und der Mond verschiedenartig auf den Ocean einwirken. Diese Perioden sind: der halbe Mondestag, der halbe Sonnentag, die Zeit eines Mondumlaufes, das Jahr und die Zeit eines Monds-Knoten-Umlaufes oder $18\frac{1}{2}$ Jahre. Unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Perioden ergaben die Brester Beobachtungen annähernd die Werthe für die Massen und Parallaxen des Mondes und der Sonne*), woher auch Bessel die Pegelstationen an grofsen Meeren eine schätzbare Zugabe zu den Sternwarten nennt**).

Ohnerachtet dieses innigen Zusammenhanges mit den kosmischen Erscheinungen läfst sich doch aus diesen für bestimmte Orte weder die Höhe der Fluth, noch die Zeit ihres Eintritts herleiten. Beide sind von localen Verhältnissen abhängig, indem die Fluthwelle eben so, wie andre Wellen, beim Auflaufen auf Untiefen oder in Buchten eine gröfsere Höhe annimmt und an Geschwindigkeit verliert. Für jeden Hafen mufs daher der Fluthwechsel zur Zeit der Springfluthen und die Hafenzeit durch ausgedehnte Beobachtungen besonders festgestellt werden. Die nautischen Jahrbücher enthalten diese Angaben und weisen zugleich nach, in welchem Maafse beide sich in den Tagen zwischen zwei Springfluthen verändern. Beim Eintritt der Fluthwelle in Buchten, die sich regelmäfsig verengen, sowie auch vor manchen

*) v. Lindenau und Bohnenberger's Zeitschrift für Astronomie und verwandte Wissenschaften. Bd. I. Seite 197.

**) Bessel, populäre Vorträge. Hamburg 1848. Seite 201.

Küsten, gewinnt sie eine viel gröfsere Höhe, und es erzeugen sich zugleich sehr heftige Strömungen, die noch dadurch verstärkt werden, dafs dahinter liegende Bassins bei der langen Periode der Fluthwelle sich anfüllen und wieder entleeren.

Die Bewegung der Fluthwellen läfst sich am sichersten erkennen, wenn man die Hafenzeiten verschiedener Orte mit einander vergleicht. W. Whewell unternahm es zuerst, die Nachrichten, welche in einzelnen Schriften und namentlich in Berichten über Seereisen enthalten sind, möglichst vollständig zu sammeln, und nachdem alle Angaben auf Greenwicher Zeit reducirt waren, dieselben in Charten zusammenzustellen*). Da diejenigen Punkte, welche gleiche Hafenzeit haben, durch Linien mit einander verbunden werden, so zeigen diese Charten, wie der Kamm der Fluthwelle von Stunde zu Stunde fortschreitet. Da man aber die Beobachtungen nur an den Küsten und nicht im offnen Meer anstellen kann, so sind die Linien oft nur durch entfernte Punkte gegeben, ihre Richtung bleibt also unbekannt. Nichts desto weniger läfst sich dennoch auch diese aus den Abständen der Punkte, wo die Hafenzeiten um eine Stunde verschieden sind, annähernd beurtheilen, und häufig geben auch Inseln, die in weiter Entfernung von der Küste liegen, einen sichern Anhalt.

Diese Zusammenstellung zeigt sehr deutlich, dafs die Fluthwelle im Süden der grofsen Continente sich bildet, und von hier sowol in den Stillen, als in den Atlantischen Ocean eintritt, und in beiden sich im Allgemeinen nordwärts bewegt. Aber auch südwärts vom Vorgebirge der guten Hoffnung und vom Cap Horn zeigen sich schon sehr auffallende Anomalien, die wahrscheinlich von unbekannten grofsen Inseln oder Continenten herrühren, welche die freie Bewegung des Wassers auch hier hindern. An der östlichen Küste von Afrika tritt die Fluthwelle beinahe in der Länge von vierzig Breitengraden gleichzeitig ein, während sie im Atlantischen Ocean 5 Stunden braucht, um vom Vorgebirge der guten Hoffnung bis zur Küste von Guinea zu gelangen. Vor Neuholland wiederholt sich dieselbe Unregelmäfsigkeit und zum

*) Essai towards a first approximation to a map of Cotidal Lines. In den Philosophical Transactions. 1833. Part I.

Theil auch vor Amerika. Die ganze Küste von Florida bis Neu-Schottland wird gleichzeitig von der Fluthwelle erreicht.

Es ergiebt sich ferner aus diesen Charten, dafs die Fluthwelle über 24 Stunden braucht, um von dem Vorgebirge der guten Hoffnung bis an die Küste von Frankreich zu gelangen, und es dauert aufserdem noch einen Tag, bis sie zwischen Island und Schottland nach der Nordsee kommt und die Mündung der Themse erreicht. Hieraus erklärt es sich, dafs die gröfsten und kleinsten Fluthwechsel oder die Springfluthen und todten Fluthen an den Europäischen Küsten nicht zur Zeit der Mondphasen, sondern $1^1/_2$ bis 2 Tage später eintreten.

Ob diese Fortsetzungen der ursprünglichen Fluthwelle, welche oft ihre Richtungen verändern, und zuweilen sogar, wie im Norden von Schottland und im Canal zwischen Frankreich und England, von Westen nach Osten laufen, durch die Anziehung des Mondes und der Sonne theilweise geschwächt oder verstärkt werden, ist unbekannt. Eine besondere Erwähnung verdient aber der Fall, wenn die Fluth eine Insel trifft, und an deren beiderseitigen Ufern die Welle sich fortsetzt. Diese getrennten Wellen treffen an irgend einer Stelle wieder zusammen, und wenn in ein besonders enges Querprofil das Hochwasser von einer Seite früher eintritt, als von der andern, so bilden sich daselbst sehr heftige Strömungen, welche die Schiffahrt gefährden. Dieses geschah zwischen Long-Island und dem Staat Connecticut am sogenannten Hellengate, woher hier in neuster Zeit die bedeutendsten Sprengungs-Arbeiten ausgeführt sind.

Zuweilen kann es auch geschehn, dafs auf dem einen Wege Hochwasser und auf dem andern Niedrigwasser gleichzeitig eintritt. Alsdann wird der Fluthwechsel auf die Differenz beider reducirt, und verschwindet wohl beinahe ganz. Dieses ist an der Holländischen Küste der Fall.

Die Fluthwelle dringt in die Nordsee eben sowol durch den Canal, wie auf der Nordseite von Schottland. Wenn die Fluthwelle aber auf dem letzten Wege schon bis Peterhead, auf der östlichen Küste von Schottland angelangt ist, so hat sie im Süden von England nur so eben Calais und Dover erreicht. Diese letzte Welle setzt in der angenommenen Richtung ihre Bewegung längs der Belgischen und Niederländischen Küste fort. An der

weit vortretenden Ecke von Nordholland trifft die von Norden herabkommende Fluth ungefähr um 6 Stunden früher ein, als diejenige, welche den Canal durchlaufen hat. Beide heben sich sonach beinahe vollständig auf. Der mittlere Fluthwechsel an der ganzen südlichen Küste der Nordsee beträgt ungefähr 12 Fufs, am Marsdiep und im Hafen Nieuwen-Diep dagegen nur 4 Fufs.

Es leuchtet an sich ein, dafs an solchen Küsten, welche von zwei verschiedenen Fluthwellen in verschiedener Zeit getroffen werden, ungewöhnlich hohe Fluthen leichter eintreten können, als an grofsen Meeren. Wenn starke Winde eine oder die andre Fluthwelle beschleunigen oder zurückhalten, so kann leicht das gleichzeitige Eintreffen beider ihre gewöhnliche Höhe verdoppeln, oder noch mehr vergröfsern. Dieser Fall ereignet sich bei anhaltenden westlichen Stürmen an der ganzen Deutschen Küste der Nordsee, und der Grund hiervon ist ohne Zweifel, dafs alsdann die durch den Canal dringende Welle beschleunigt und verstärkt wird. Man nennt diese Fluthen Sturmfluthen und sie erheben sich bis 12 Fufs über die gewöhnliche Höhe. An der Englischen und Französischen Küste sind sie meist ganz unbekannt, denn wenn Stürme auch hier einige Anschwellung veranlassen, so ist dieselbe doch niemals so bedeutend, dafs sie gegen die Differenzen zwischen Springfluthen und todten Fluthen in Betracht käme. Diese letzten Differenzen sind aber an der Deutschen Nordseeküste ziemlich unbedeutend. Nach den an der Jade im Jahre 1855 angestellten Beobachtungen mifst der Fluthwechsel durchschnittlich

in den Springfluthen 13 Fufs 2,8 Zoll
und in den todten Fluthen 11 Fufs 1,7 Zoll.

Die Höhen stehn daher im Verhältnifs, wie 19 zu 16, und in ähnlicher Weise verhält es sich an der Mündung der Weser und Elbe, während in den Französischen und Englischen Häfen das Verhältnifs durchschnittlich wie 2 : 1 sich herausstellt und an manchen Stellen, wie bereits erwähnt, 3 : 1 ist.

In nahem Zusammenhange hiermit steht auch die lange Dauer des Hochwassers in einzelnen Häfen. Gemeinhin kann man nämlich, wenigstens am offenen Meere, wenige Minuten nachdem das Steigen aufgehört hat, schon das Fallen des Wassers bemerken. In den Flufsmündungen verlängert sich aber die

Dauer des Hochwassers sehr bedeutend, so z. B. an der Mündung der Orne auf $1\,^1/_4$ Stunden und nahe eben so grofs ist sie auch im Hâvre. Für die Schiffahrt ist dieser Umstand sehr vortheilhaft, weil alsdann das Aus- und Eingehn der Schiffe mit gröfserer Bequemlichkeit erfolgen kann.

Sehr wichtig ist die Frage, in welchem Maafse das Wasser von Stunde zu Stunde während einer vollen Fluthperiode steigt und fällt, oder welche Form die Fluthwelle hat, während sie an einem Beobachtungsorte vorübergeht. Aus der obigen Entwickelung der flutherzeugenden Kraft des Mondes oder der Sonne läfst sich diese Curve leicht herleiten, wenn man wieder die an sich begründete Voraussetzung macht, dafs die Erhebung des Wassers jener Kraft proportional ist.

Diese Kraft war gleich $m P \frac{2r}{a^3}$, indem m eine Constante, P die Masse des anziehenden Himmelskörpers, a dessen centralen Abstand von der Erde und r den Halbmesser der letztern bezeichnet. Der Einfachheit wegen nehme man an, der untersuchte Punkt A auf der Erdoberfläche befinde sich unter dem Aequator, und die durch den letztern und durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene treffe in weiter Entfernung auch den anziehenden Himmelskörper M. Diese Voraussetzungen sind keineswegs ganz richtig, sie entfernen sich jedoch nicht weit von der Wahrheit und stellen insofern die wirklichen Verhältnisse annähernd dar, als die Fluthwelle in niedrigen Breiten sich erzeugt, und die Declinationen der anziehenden Himmelskörper bald nördlich und bald südlich sind. Der Punkt A durchläuft nach Fig. 17 den Weg $DAEGF$. In der Richtung CM befinde sich der betreffende Himmelskörper, und von der auf CM gezogenen senkrechten Linie CD ab messe man den Winkel φ, den der Punkt A durchlaufen hat. Der Abstand des letztern von dem anziehenden Körper M ist alsdann bei dessen sehr grofsen Entfernung, wodurch die Richtung sich nur sehr wenig ändert, um r Sin φ kleiner, als der des Mittelpunktes der Erde. Daraus ergiebt sich die flutherzeugende Kraft in der Richtung AM gleich

$$m P \frac{2r \operatorname{Sin} \varphi}{a^3}$$

und wenn man diese Kraft auf den verlängerten Radius *CA* projicirt, so erhält man die Erhebung des Wasserstandes, die mit y bezeichnet wird,

$$y = 2\,m\,\frac{Pr}{a^3}\,\mathrm{Sin}\,\varphi^2$$

$$= m\,\frac{Pr}{a^3}\,(1 - \mathrm{Cos}\,2\,\varphi)$$

Wenn sonach ein Kreis, dessen Durchmesser dem ganzen Fluthwechsel, oder dessen Radius r dem halben Fluthwechsel zwischen Hoch- und Niedrigwasser gleich ist, auf einer geraden Linie gleichmäſsig rollt, und der von dem Niedrigwasser ab zurückgelegte Weg durch den entsprechenden Bogen $2\,r\,\varphi$ bezeichnet wird, wie Fig. 18 zeigt, so ist an jeder Stelle, wo der Kreis sich befindet, für jeden Punkt C, dessen Abscisse $AB = 2\,r\,\varphi$, die Fluthhöhe oder die Ordinate $BC = r\,(1 - \mathrm{Cos}\,2\,\varphi)$ oder gleich dem Sinus versus dieses Winkels. Auf solche Art bildet sich das Profil der Fluthwelle über dem Halbkreise *DEG* (Fig. 17). Dasselbe Profil stellt sich aber auch auf dem gegenüberstehenden Halbkreise *GFD* dar, welcher dem anziehenden Himmelskörper abgewendet ist.

Bei der Drehung der Erde bewegt sich jeder Punkt vergleichungsweise gegen den Stand des anziehenden Himmelskörpers rings um den Kreis *DEGFD*, und indem diese Drehung erfolgt, so stellen sich in ihm zwei vollständige Fluthperioden ein. Das so eben hergeleitete Gesetz ist aber zugleich der Ausdruck für die Curve der Fluthwelle, wenn die Abscissen der Zeit proportional angenommen werden. Fig. 18 zeigt diese Curve.

Dieses Gesetz ist zuerst von La Place*) ausgesprochen worden. Die Curve, welche es darstellt, ist nichts andres, als die gewöhnliche Sinuslinie, wenn man die Abscissenlinie durch den Mittelpunkt des rollenden Kreises legt. Es muſs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, daſs die Maaſsstäbe, welche man für die Abscissen und Ordinaten wählt, von einander ganz unabhängig sind, weil die ersten die Zeiten, und die letzten die Längenmaaſse darstellen.

---

*) Traité de mécanique céleste. Tome II, Livre IV. Chap. 3. Nr. 17.

Minard*) erwähnt, dafs die Beobachtungen auf freiliegenden Küstenpunkten diese Curve sehr nahe wiedergeben. Nach einigen von ihm mitgetheilten Profilen und namentlich nach dem bei Lorient gemessenen ist dieses allerdings der Fall. Eine noch gröfsere und gewifs überraschende Uebereinstimmung mit diesem Gesetz giebt sich dagegen in einer Beobachtungs-Reihe zu erkennen, die Brahms**) früher, als das Gesetz bekannt war, mitgetheilt hat. Der Beobachtungsort ist nicht näher angegeben, es wird nur gesagt, die Tabelle weise nach, wie die Fluth und Ebbe in der Jade steige und falle. Wahrscheinlich sind die Messungen nahe an der Mündung der Jade, vielleicht in Hoch-Siel gemacht, denn weiter südlich bei Wilhelmshaven üben die ausgedehnten Wattgründe in dem weiten Busen der Jade schon einen sehr störenden Einflufs aus, wie in Folgendem gezeigt werden wird.

Indem das Werk von Brahms bereits ziemlich selten geworden ist, so theile ich nachstehend diese Beobachtungen vollständig mit:

	Fluth.		Ebbe.	
	Zeit.	Wasserstand.	Zeit.	Wasserstand.
Niedrig-wasser	6 Uhr 45 Min.	0 Fufs 0 Zoll	1 Uhr 0 Min.	11 Fufs 11¼ Zoll
	7 - 0 -	0 - 1½ -	1 - 15 -	11 - 9 -
	7 - 15 -	0 - 4 -	1 - 30 -	11 - 6¼ -
	7 - 30 -	0 - 7¼ -	1 - 45 -	11 - 2½ -
	7 - 45 -	0 - 11¾ -	2 - 0 -	10 - 9¾ -
	8 - 0 -	1 - 5¼ -	2 - 15 -	10 - 4 -
	8 - 15 -	1 - 11¼ -	2 - 30 -	9 - 10 -
	8 - 30 -	2 - 5¾ -	2 - 45 -	9 - 3½ -
	8 - 45 -	3 - 1¼ -	3 - 0 -	8 - 8½ -
	9 - 0 -	3 - 9¾ -	3 - 15 -	8 - 1 -
	9 - 15 -	4 - 6½ -	3 - 30 -	7 - 5 -
	9 - 30 -	5 - 3¾ -	3 - 45 -	6 - 8½ -
	9 - 45 -	6 - 1½ -	4 - 0 -	5 - 11½ -
	10 - 0 -	6 - 11 -	4 - 15 -	5 - 2 -
	10 - 15 -	7 - 8 -	4 - 30 -	4 - 5 -
	10 - 30 -	8 - 4¼ -	4 - 45 -	3 - 8½ -
	10 - 45 -	9 - 0 -	5 - 0 -	2 - 11¾ -

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer. Paris 1846. pag. 8.

**) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst von Albert Brahms. Theil I. Aurich (ohne Jahreszahl) Seite 74. Der zweite Theil ist im Jahre 1757 erschienen.

	Fluth.		Ebbe.	
	Zeit.	Wasserstand.	Zeit.	Wasserstand.
	11 Uhr 0 Min.	9 Fufs 7 Zoll	5 Uhr 15 Min.	2 Fufs 4¾ Zoll
	11 - 15 -	10 - 1¼ -	5 - 30 -	1 - 10¼ -
	11 - 30 -	10 - 7 -	5 - 45 -	1 - 4½ -
	11 - 45 -	11 - ¼ -	6 - 0 -	1 - 0 -
	12 - 0 -	11 - 4½ -	6 - 15 -	0 - 8 -
	12 - 15 -	11 - 7¾ -	6 - 30 -	0 - 5 -
	12 - 30 -	11 - 10 -	6 - 45 -	0 - 3 -
	12 - 45 -	11 - 11¼ -	7 - 0 -	0 - 2½ -
Hochw.	12 - 50 -	11 - 11½ -	7 - 15 -	0 - 2½ -

Fig. 19 stellt diese Beobachtungsreihe dar. Man bemerkt dafs das Niedrigwasser, mit dem die Beobachtungen beginnen, etwa um $2^1/_4$ Zoll tiefer herabgesunken war, als dasjenige mit dem sie schliefsen. Dieser Unterschied ist ungewöhnlich geringe, nichts desto weniger mufs man, wenn man einen sichern Vergleich anstellen will, hierauf Rücksicht nehmen und für den aufsteigenden und den abfallenden Schenkel zwei verschiedene Gröfsen des Fluthwechsels zum Grunde legen. Thut man dieses, so schliefst sich die Sinuslinie so genau an die Beobachtungen an, dafs die übrigbleibenden Fehler durchschnittlich noch nicht einen halben Zoll, und im Maximum nur 2 Zoll betragen. Diese Beobachtungsreihe liefert also eine sehr wichtige Bestätigung des oben entwickelten Gesetzes.

Einige Meilen weiter südlich, an der von Westen vortretenden Ecke, das Veer-Hoek genannt, ohnfern Wilhelmshaven, wo sich der weit ausgedehnte Busen der Jade von dem engeren Halse scheidet, zeigt die Fluth-Scale niemals dieselbe Regelmäfsigkeit. In den Springfluthen wie in den todten Fluthen und überhaupt jedesmal, wenn nicht etwa sehr starke Winde eine Aenderung veranlassen, steigt das Wasser in den ersten vier Stunden viel schneller, als in den beiden letzten, und eben so fällt es auch im Anfange der Ebbe schneller, als am Ende derselben. Der Grund davon ist ohne Zweifel in den hohen Wattgründen des Jade-Busens zu suchen, welche in der ersten Hälfte der Fluth trocken bleiben, so dafs die eintretende Wassermasse anfangs nur die Rillen oder Baljen zu füllen braucht, während sie später sich über jene Gründe ergiefst und daher einen stärkern Abflufs des steigenden Wassers veranlafst. Eben so strömt während der

zweiten Hälfte der Ebbe noch dauernd das auf den Watten aufgefangene Wasser ab, und verzögert dadurch das Sinken des Wasserstandes vor dem hier befindlichen Pegel.

Die Dauer der Fluth ist auf dieser Station sehr nahe derenigen der Ebbe gleich, und durchschnittlich ist jene nur um $8\frac{1}{2}$ Minuten länger, als diese. Um die mittlere Form der Fluthwelle zu bestimmen, wählte ich unter den sehr zahlreichen Beobachtungsreihen 17 aus, die bei ruhiger Witterung angestellt und so weit ausgedehnt waren, dafs die Zeit und Höhe des Niedrigwassers sowol am Anfange, als am Ende der Beobachtungsreihe sich hinreichend sicher entnehmen liefs. Nachdem für jede dieser Reihen die einzelnen Ablesungen in Zwischenzeiten von 10 Minuten graphisch dargestellt und durch eine möglichst anschliefsende Curve mit einander verbunden waren, wurde die Niveau-Differenz zwischen dem Scheitel des Hochwassers und dem des vorhergehenden Niedrigwassers in 20 gleiche Theile getheilt. Die Zeichnung ergab alsdann die Zeit, in welcher jeder einzelne dieser Höhentheile erreicht war. In gleicher Art wurde hierauf auch der abfallende oder der Ebbe-Schenkel, und zwar vom Hochwasser bis zu dem darauf folgenden Niedrigwasser behandelt. Aus der Verbindung aller Reihen ergaben sich die Zeiten, in welchen vor und nach dem Hochwasser diese verschiedenen Höhen bei der Fluth und der Ebbe erreicht sind*). Fig. 20 zeigt das Profil der Fluthwelle, wie es nach dieser Untersuchung im mittlern Werthe sich darstellt.

Das rasche Steigen bei der Fluth und das langsame Fallen des Wassers bei der Ebbe tritt an Beobachtungsorten, welche vom offenen Meer noch weiter entfernt sind, und an grofsen Strömen liegen, viel auffallender hervor. Fig. 21 zeigt ein bei Hamburg gemessnes Fluthprofil. Der Ebbe-Schenkel desselben bildet hier gar keinen sanften Uebergang zu dem folgenden Fluthschenkel. Die Fluthwelle tritt vielmehr plötzlich auf und die Dauer des niedrigsten Wassers verschwindet daher vollständig. Auch hier bemerkt man, dafs die Fluth in den ersten Stunden

*) Ueber Fluth- und Boden-Verhältnisse des Preussischen Jade-Gebiets. Monatsberichte der Königl. Academie der Wissenschaften zu Berlin 1856. Seite 339 ff.

schneller steigt, als in den letzten. Bei der Ebbe findet in geringerem Maafse dasselbe statt. Ehe die Fluth heraufkommt, senkt sich das Wasser anhaltend, doch erfolgt die Senkung in gleichen Zeiten immer langsamer, bis sie durch die neue Welle plötzlich unterbrochen wird. Auch die Dauer des Steigens und Fallens ist sehr verschieden. Die Fluth hält nur $4^3/_4$ Stunden an, während die Ebbe sich auf $7^1/_2$ Stunden ausdehnt.

In Betreff der Fluthprofile müssen noch manche auffallende Anomalien erwähnt werden. Ueber den Einflufs des Windes, der um so bedeutender wird, wenn die Fluth auf zwei verschiedenen Wegen ein Ufer trifft, ist bereits gesprochen worden, so auch von der längern Dauer des höchsten Wasserstandes, die in manchen Häfen zum grofsen Vortheil des Schiffahrtsbetriebes eintritt. Besonders bemerkenswerth ist aber, dafs an einzelnen Orten in derselben Fluthperiode das Wasser abwechselnd steigt und fällt, also zwei Maxima und zwei Minima in einem Fluthprofil sich bilden. Namentlich geschieht dieses wieder, wenn durch eine davor liegende Insel die Welle getheilt wird und der eine Theil derselben den Beobachtungsort früher erreicht, als der andre. Vor der Mündung der Charente liegt die Insel Oleron, vor der sich ein ziemlich regelmäfsiges Fluthprofil zeigt. Durch dieselbe wird indessen der Strom gespalten und indem ein Theil von diesem die Mündung der Charente früher erreicht, als der andre, so stellen sich in Rochefort zwei verschiedene Hochwasser ein. Dieses geschieht vorzugsweise in der Zeit des ersten und letzten Mondviertels. Während der ersten drei Stunden der Fluth steigt das Wasser regelmäfsig 4 bis 5 Fufs, alsdann wird die Zunahme geringer, und 4 Stunden später bildet sich der erste Hochwasser-Scheitel. Hierauf fällt das Wasser zwei Stunden lang sehr langsam, so dafs es sich im Ganzen etwa um 1 Fufs senkt. Alsdann beginnt ein neues Steigen, das nach 2 Stunden den höchsten Scheitelpunkt bildet, der den ersten zuweilen um $2^1/_2$ Fufs überragt. Bei der nunmehr eintretenden Ebbe sinkt das Wasser sehr schnell auf seinen tiefsten Stand herab. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch in andern Häfen und schon Smeaton bemerkte sie bei Christchurch auf der westlichen Seite der Insel Wight.

Die sehr vollständigen und genauen Fluthbeobachtungen,

welche die Provinz Nordholland bei Nieuwen-Diep anstellen läfst, und von denen noch später die Rede sein wird, zeigen die merkwürdige Erscheinung, dafs das Hochwasser sich nahe eine Stunde lang in gleicher Höhe erhält, aber am Anfange oder am Schlusse dieser Periode noch plötzlich bedeutend anschwillt. Diese Anschwellungen sind aber in den auf einander folgenden Fluthen nicht übereinstimmend, vielmehr liegt der steile Scheitel, den sie darstellen, bei den Tagesfluthen auf der einen und bei den Nachtfluthen auf der andern Seite, und bei andern Positionen des Mondes wechseln beide Scheitel ihre Stellung. Es ergiebt sich also hieraus noch eine andre eigenthümliche Einwirkung der Sonne.

Noch auffallender wird die Erscheinung an manchen Punkten der östlichen Küste von Asien und zwar in hohen Breiten, woselbst bei gewissen Monds-Positionen nur einmal am Tage die Fluth sich bemerklich macht. Auch bei Tahiti tritt die geringe Fluth nur Mittags ein, und ist vom Monde fast ganz unabhängig.

Was die Gröfse des Fluthwechsels oder die Niveau-Differenz zwischen Hochwasser und Niedrigwasser betrifft, so ist bereits erwähnt worden, dafs dieselbe nicht nur vom Stande und der Entfernung des Mondes und der Sonne von der Erde, sondern auch in hohem Grade von der Lage des Beobachtungsortes und der Gestaltung der Küste abhängt. Die Wirkung der astronomischen Verhältnisse läfst sich durch Rechnung bestimmen, die der localen aber nur durch directe Beobachtung. Wie es aber zur Bestimmung der Zeit des Hochwassers für jeden Tag genügt, wenn man die Hafenzeit, also die Stunde dieses Eintritts bei Voll- und Neumonden kennt, indem sie für die übrigen Tage sich hieraus leicht herleiten läfst, eben so darf man im Allgemeinen auch nur den Fluthwechsel während der Springfluthen und der todten Fluthen eines Hafens kennen, um daraus den Fluthwechsel und eben so auch die Höhe des Hochwassers und des Niedrigwassers an jedem beliebigen Tage, und nach dem bekannten Fluthprofil sogar den Wasserstand in jeder beliebigen Stunde herzuleiten. Zu diesem Zweck sind in England, wie auch in Frankreich und Nord-Amerika durch vielfache Beobachtungen die Fluthwechsel zur Zeit der Springfluthen bestimmt worden, und das mittlere Niedrigwasser zur Zeit der Springfluthen ist in die Hafen- und

Küstencharten eingetragen. Die darin eingeschriebenen Zahlen bezeichnen die Tiefen bei diesem Wasser, und eben so auch die Höhe, um welche die Sand- und Kiesbänke und Felsen darüber hervorragen. Sobald der Schiffer weifs, wie hoch das Wasser über diesem Niedrigwasser steht, so kennt er die Wassertiefen in den Fahrwassern, die er beim Durchfahren vorfindet. In den Fluth-Tabellen, die jedes Jahr berechnet und veröffentlicht werden, findet er für die Haupthäfen die Zeiten angegeben, in welchen an jedem Tage die Hochwasser daselbst eintreten und zugleich die Höhen, bis zu welchen sie über das niedrigste Wasser sich erheben. Für die kleinern, in der Nähe befindlichen Häfen sind aber in beigefügten andern Tabellen sowol die Unterschiede in der Zeit, wie in den Höhen, vergleichungsweise gegen jene Haupthäfen angegeben. Hierdurch wird der Schiffer in den Stand gesetzt zu beurtheilen, welche Wassertiefe er in jeder Stunde daselbst vorfindet.

Die Bewegung der Fluthwelle ergiebt sich am deutlichsten aus den Hafenzeiten oder dem Eintritt des Hochwassers bei Springfluthen. Um dieselben aber mit einander vergleichen zu können, müssen die Local-Zeiten auf diejenigen an einem bestimmten Orte reducirt werden. In nachstehender Tabelle sind sämmtliche Hafenzeiten in Greenwicher Zeit ausgedrückt. Dabei sind solche Punkte ausgewählt, die möglichst unmittelbar am Atlantischen Ocean, an der Nordsee und am Canal zwischen England und Frankreich liegen. Wenn die Häfen auch nur wenig von der offenen See entfernt sind, so treten in den Zwischenstrecken schon sehr bedeutende Verzögerungen ein, und die Beobachtungen lassen alsdann das Fortschreiten der grossen Fluthwelle nicht mehr erkennen. Die Höhen des Fluthwechsels zur Zeit der Springfluthen sind in Englischen Fufsen ausgedrückt. Es mufs aber bemerkt werden, dafs diese Angaben, so weit sie mir zu Gebote standen, oft sich wesentlich widersprachen, woher die Reduction auf Rheinländische Fufse, die um 3 Procent gröfser, als die Englischen sind, entbehrlich erschien.

	Hafenzeit.	Fluthwechsel.
Spanien und Portugal.		
Cadix	2 Uhr 30 Min.	10 Fufs
Cap St. Vincent	2 - 35 -	
Berlingas-Klippe	3 - 40 -	
Oporto	3 - 50 -	
Vigo	4 - 20 -	
Cap Finisterre	3 - 40 -	15 -
Bilbao	3 - 45 -	20 -
Frankreich.		
St. Jean de Luz	3 - 25 -	16 -
Bayonne	3 - 48 -	
Thurm von Corduan . . .	3 - 53 -	15 -
Sables d'Olonne	3 - 30 -	
Isle Dieu	3 - 20 -	
l'Orient	3 - 45 -	15 -
Isle Ouessant	4 - 0 -	20 -
Les sept Isles	5 - 15 -	30 -
St. Malo	6 - 10 -	26 -
Jersey	6 - 15 -	
Cherbourg	8 - 8 -	19 -
Fécamp	10 - 15 -	24 -
Dieppe	11 - 5 -	28 -
Calais	11 - 43 -	19 -
Dünkirchen	11 - 48 -	17 -
England, Schottland und Irland.		
South Foreland	11 - 15 -	15 -
Dover	11 - 5 -	20 -
Hastings	10 - 36 -	
Needles (bei Wight) . . .	9 - 40 -	
Plymouth	5 - 43 -	18 -
Cap Lizard	5 - 5 -	
Cap Landsend	4 - 45 -	
Cap Hartland	6 - 20 -	
Bristol	7 - 30 -	40 -
Cap Clear	4 - 48 -	12 -
Cap Slyne	5 - 55 -	
Cap Wraht	8 - 50 -	
Pentland Firth	11 - 10 -	8 -
Peterhead	2 - 0 -	

	Hafenzeit.	Fluthwechsel.
Aberdeen	1 Uhr 22 Min.	14 Fufs
Berwick	2 - 23 -	16 -
Sunderland	3 - 5 -	12 -
Humber-Mündung	5 - 30 -	16 -
Yarmouth	8 - 35 -	8 -
Harwich	11 - 30 -	14 -
Belgien und Niederlande.		
Ostende	12 - 0 -	15 -
Mündung der Wester-Schelde .	12 - 31 -	13 -
Mündung der Oster-Schelde .	1 - 26 -	11 -
Mündung des Krammer . . .	1 - 50 -	10 -
Goederede	2 - 0 -	8 -
Hoek van Holland	1 - 50 -	7 -
Katwyk	2 - 0 -	6½ -
Petten	3 - 2 -	6 -
Helder	5 - 35 -	5 -
Texel	7 - 44 -	4½ -
Vlieland	8 - 2 -	6½ -
Terschelling	8 - 18 -	7 -
Deutschland.		
Wangeroog	11 - 40 -	
Cuxhaven	12 - 45 -	11 -
Helgoland	9 - 15 -	9 -
Eyder-Mündung	12 - 52 -	
Dänemark und Norwegen.		
Küste von Jütland	11 - 30 -	
Cap Lindesnes	10 - 50 -	
Bergen	1 - 10 -	
Drontheim	2 - 35 -	
Hammerfest	12 - 0 -	

Diese Zusammenstellung zeigt sehr auffallende Unregelmäfsigkeiten, die sich zum Theil dadurch erklären, dafs die Fluthwelle ihre Richtung verändert, oder durch Inseln und Untiefen verzögert wird, zum Theil sind es aber Anomalien, die aus den Karten sich nicht erklären lassen, woher unbekannte locale Verhältnisse die Veranlassung dazu geben müssen.

Cap St. Vincent liegt ungefähr 14 Breitengrade südlich

von den Vorgebirgen Landsend und Clear, und den Weg von jenem zu diesen legt die Fluthwelle in 2 Stunden und 10 Minuten zurück, ihre Geschwindigkeit ist also nahe 100 deutsche Meilen in der Stunde. Diese Geschwindigkeit darf nicht überraschen, denn im südlichen Eismeer, wo die Welle sich bildet, durchläuft sie im Süden des Cap Horn, des Vorgebirges der guten Hoffnung und im Süden von Australien und Neu-Seeland an einem Tage zweimal einen Weg von mehr als 4000 Meilen, ihre Geschwindigkeit ist also hier mehr als dreimal so grofs.

Sobald die Fluthwelle ihre Richtung verändert, mäfsigt sich in hohem Grade ihre Geschwindigkeit. Der Weg von Landsend bis Hartland, und eben so derjenige von hier bis Bristol, von denen jeder nur etwa 20 Meilen lang ist, nimmt etwa $1\frac{1}{2}$ Stunden in Anspruch. Um den Canal von Landsend bis Foreland zu durchlaufen, der etwa 70 Meilen lang ist, braucht sie ungefähr $6\frac{1}{2}$ Stunden, sie legt also in der Stunde kaum 11 Meilen zurück. Ohne Zweifel trägt hierzu auch die verminderte Tiefe und die Nähe der beiderseitigen Ufer wesentlich bei.

Die stärkste Verzögerung tritt aber an der Niederländischen Küste und zwar vor der Provinz Nord-Holland ein.

Petten ist nur $2\frac{1}{2}$ Meilen von Helder entfernt und eben so auch Texel, und jeder dieser Wege nimmt über zwei Stunden in Anspruch, die Geschwindigkeit beschränkt sich also auf eine Meile in der Stunde. Diese auffallende Erscheinung hat indessen noch einen andern Grund, nämlich die Begegnung der beiden verschiedenen Fluthwellen, welche in die Nordsee treten. Die an der Englischen Küste beobachteten Hafenzeiten lassen diese beiden Wellen sehr deutlich erkennen, von denen eine durch den Canal und die andre von Norden her um Schottland eintritt, und die sich beide auf der östlichen Küste von England im Osten von Dover begegnen. Die erste dieser Wellen tritt aber, indem sie ihre Richtung beibehält, noch vor der Belgischen und Niederländischen Küste in die Nordsee ein, und wo beim Begegnen der zweiten ihr Kamm mit dem Thal der andern Welle nahe zusammentrifft, erfolgt die fortschreitende Bewegung des Hochwassers überaus langsam. Der Einflufs des Windes ist dabei auch von Bedeutung und so erklärt sich die grofse Unregelmäfsigkeit der Hafenzeiten für das östliche Ufer der Nordsee.

Dabei mufs aber bemerkt werden, dafs die Hafenzeiten längs der Dänischen und Norwegischen Küste auch sehr verschieden angegeben werden.

Die erwähnte Begegnung und die gegenseitige Schwächung der Fluthwellen ist Veranlassung, dafs der Fluthwechsel neben Nord-Holland gewöhnlich überaus gering bleibt. Auch während heftiger Stürme, wobei die Fluthen übermäfsig anschwellen, bleibt er mäfsig. Während der Ebbe senkt sich alsdann der Wasserspiegel oft noch nicht bis zur gewöhnlichen Fluthhöhe, und zuweilen scheint sogar die Ebbe ganz zu fehlen. Diese Erscheinung ist, wie bereits erwähnt, am Atlantischen Ocean ganz unbekannt.

Andrerseits dürfen auch die besonders grofsen Fluthwechsel nicht unberührt bleiben. Eben so wie jede andre Meereswelle schwillt die Fluthwelle an, wenn sie in eine Bucht eintritt, die sich nach und nach verengt. Dieses ist an der Französischen Küste bei St. Malo schon der Fall, wo der Wechsel stellenweise bis gegen 40 Fuss beträgt. Am auffallendsten zeigt es sich aber im Westen von England in der Bucht von Bristol. Nach Hübbe*) beträgt der Fluthwechsel bei St. Ives ohnfern der äufsersten Spitze von Cornwall 18 Fufs, bei Padstow 24 Fufs, an der Insel Lundy 30 Fufs, an der Mündung des Avon 48 Fufs und an der Mündung des Weye bei Chepstow, wo die Bucht sich etwa bis auf 400 Ruthen verengt, 50 bis 60 Fufs. An derselben Stelle wo dieser hohe Wasserstand sich bildet, kann man gegen Ende der Ebbe beinahe trocknen Fufses durch den Severn gehn.

Die Vorrichtungen zum Beobachten der Wasserstände solcher Gewässer, welche der Fluth unterworfen sind, verdienen noch einer besondern Erwähnung. Wollte man die Ablesungen wie an oberländischen Flüssen geschieht, an bestimmten Tagesstunden vornehmen, so würden sie beinahe ohne Werth bleiben. In manchen Häfen, wo auf diese Beobachtungen wenig Gewicht gelegt wird, ist die Anordnung getroffen, dafs die Ablesungen zur Zeit des höchsten und des niedrigsten Wassers erfolgen, und dabei zugleich die Zeiten des Eintritts derselben notirt werden

*) Reisebemerkungen, hydrotechnischen Inhalts, von H. Hübbe. Hamburg 1844.

sollen. Es ist indessen überaus schwierig, solche Vorschrift bei dem steten Wechsel des Wasserstandes und bei dem grofsen Einflufs der Witterung auf denselben so zur Ausführung zu bringen, dafs die Messungen die nöthige Schärfe wirklich haben. Der Beobachter mufs in diesem Fall selbst bei normalen Fluthen wenigstens eine Viertel Stunde hindurch am Pegel sich aufhalten, und wenn er den höchsten und niedrigsten Wasserstand auch genau genug angiebt, so wird es ihm doch nicht gelingen, die Zeit des Eintritts desselben richtig zu bezeichnen, so lange er nicht in kurzen Zeit-Intervallen die Höhen notirt, und aus den sehr geringen Aenderungen derselben die Zeit des höchsten Wasserstandes, wie die Abscisse des Scheitelpunktes einer Curve, herleitet. In der Regel wird er den Zeitpunkt, in welchem er die entgegengesetzte Bewegung schon bemerkt, als denjenigen ansehn, wo der Wechsel erfolgt, also wird er die Zeiten um einige Minuten zu spät notiren. Wenn aber vollends die Fluthen sich verfrühen oder verspäten, wie häufig geschieht, so kann leicht der Wasserwechsel unbeachtet vorübergehn, und es werden alsdann willkührliche Angaben in die Tabellen geschrieben.

Um wenigstens die höchsten Wasserstände sicher zu erkennen, richtete schon Brahms an den Oldenburger Deichen einen selbstregistrirenden Pegel ein. Er stellte nämlich in einem Falz am Siele einen starken hölzernen Stab, in welchen in Abständen von einem Zoll Löcher in schräger Richtung abwärts eingebohrt waren. Dieser ganze Stab wurde mit Oel getränkt, damit das Wasser, welches in die Löcher trat, sich nicht in das Holz einziehn konnte. Aufserdem sorgte man bei der Aufstellung dafür, dafs dieser Stab vom Wellenschlage nicht getroffen wurde. Diejenigen Löcher, in welche das Hochwasser eintrat, blieben längere Zeit hindurch gefüllt und so konnte man mehrere Stunden nachher noch erkennen, wie hoch die Fluth gestiegen war.

Viel zweckmäfsiger sind die Einrichtungen, die man in neuerer Zeit vielfach getroffen hat. Zunächst pflegt man nicht an einem gewöhnlichen Pegel im Vorhafen den Wasserstand abzulesen, weil theils die Wellenbewegung keine Schärfe gestattet, und theils bei dem steten Wechsel des Wasserspiegels die Latte sich so schnell mit Schlamm überzieht, dafs die Eintheilung in kurzer Zeit nicht mehr zu erkennen ist. Der Wasserstand wird

daher in einem brunnenförmigen Bassin gemessen, welches durch einen Canal oder eine Röhre von mäfsigen Dimensionen mit dem Vorhafen in Verbindung steht, und bis unter das niedrigste Wasser herabreicht. Hierdurch wird der Einflufs der Wellen schon in hohem Grade aufgehoben. Wenn in diesem Brunnen auch gewisse feste Marken angebracht sind, um den ganzen Apparat immer prüfen und berichtigen zu können, so erfolgt die Ablesung doch nicht an einem feststehenden Maafsstabe, vielmehr an einem Zeiger, der durch einen Schwimmer aus Kupferblech in Bewegung gesetzt wird. Letzterer mufs hinreichend grofs sein, um nicht durch die Reibung beim Anlehnen an die Seitenwand in seiner vertikalen Bewegung gehindert zu werden, und am vortheilhaftesten ist es, durch besondere Führung dieses Berühren der Wände vollständig zu verhindern.

Fig. 22 zeigt den Durchschnitt und die Einrichtung des Pegels in dem Kriegshafen bei Cherbourg. Der Brunnen, mit Werksteinen eingefafst, steht durch einen überwölbten Canal mit dem Vorhafen in Verbindung. Ueber ihm ist ein leichtes hölzernes Gebäude errichtet und hierin befindet sich zunächst ein eisernes Rad *A*, über welches eine kupferne Kette ohne Ende geschlungen ist. Diese greift mit ihren Schaaken in besondere Zähne des Rades ein, und setzt dadurch dieses in Bewegung, sobald der an ihr befestigte Schwimmer *C* sich hebt oder senkt. Damit sie aber auch beim Ansteigen des Schwimmers der Bewegung folgt, so trägt sie an der andern Seite ein angemessenes Gegengewicht *D*, welches ihr stets die nöthige Spannung giebt. Indem die Kette, wie die Figur zeigt, auch unten geschlossen ist, so bleibt sie jederzeit an sich im Gleichgewicht und eine Störung des Letztern, die allerdings eine verschiedene Eintauchung des Schwimmers zur Folge haben würde, tritt nur insofern ein, als das Gegengewicht *D* sich zuweilen über das Wasser erhebt. Bei dem grofsen specifischen Gewicht desselben und bei dem bedeutenden Querschnitt des Schwimmers bleibt der hierdurch verursachte Fehler indessen überaus geringe. Das Rad *A* dreht sich demnach bei jeder Veränderung des Wasserstandes um einen entsprechenden Winkel. Da es jedoch bei dem bedeutenden Fluthwechsel, und da man ihm keine übermäfsigen Dimensionen geben konnte, mehrere Revolutionen machte, so liefs sich der zur Ablesung dienende Zeiger

nicht unmittelbar an seiner Achse anbringen. Aus diesem Grunde greift ein daran befindliches Getriebe in ein zweites Rad *B* ein, und dieses trägt an seiner Achse den Zeiger, der den Wasserstand angiebt. Ohne Zweifel ist hierdurch die Beobachtung sehr erleichtert. Aufserdem befinden sich an beiden Seiten des eingetheilten Bogens, der die Wasserstände angiebt, noch zwei lose Zeiger, die von dem ersten gefafst und soweit zurückgeschoben werden, als jener sich bewegt. Dieselben lassen also später erkennen, wie weit das Wasser gestiegen oder herabgesunken ist. Die Achse, welche den ersten Zeiger trägt, verlängert sich auf der gegenüberstehenden Seite noch soweit, dafs sie aus der Wand des Gebäudes heraustritt und hier auf einem zweiten Zifferblatt jedem Vorübergehenden den Wasserstand anzeigt.

Aufserdem werden die erwähnten Schwimmer in neuester Zeit auch häufig mit Vorrichtungen versehn, wodurch der jedesmalige Wasserstand mit Angabe der Zeit, in der er eintritt, sich selbst aufzeichnet. Man nennt dieses selbstregistrirende Pegel. Fig. 23 stellt in der wesentlichsten Zusammensetzung denjenigen Apparat dieser Art vor, der in England vielfach in Seehäfen benutzt wird. An dem Kupferdraht *A* befindet sich der Schwimmer, der wieder in einem Brunnen übereinstimmend mit dem Wasserstande im Vorhafen sich hebt und senkt. Der Draht ist um die Trommel *B* geschlungen, und da man in der darzustellenden Scale die Höhenunterschiede nicht in der natürlichen Gröfse, sondern in kleinerem Maafsstabe wiedergeben will, so hängt der eiserne Block *E*, der zugleich das Gegengewicht bildet und den zeichnenden Stift *F* trägt, an einem zweiten Draht, der um die kleinere Trommel *D* gewunden ist. Beide Trommeln sind an derselben Achse befestigt und bewegen sich also übereinstimmend. Der schwere Block *E* wird aber zwischen behobelten Schienen so sicher geführt, dafs er sich nur heben und senken, aber keine seitliche Bewegung annehmen, noch schwanken kann. Der Stift *F* wird durch eine sanft gespannte Feder vorgeschoben und lehnt sich daher mit geringem Druck gegen die vertikale Walze *G*. Letztere steht mit einem Uhrwerk in Verbindung und wird durch dieses in 24 Stunden einmal umgedreht. Wenn man sonach um diese Walze einen darauf passenden und vorher mit entsprechenden Parallellinien versehenen Papierbogen legt und

daran befestigt, so zeichnet der Stift auf denselben die Wasserstände eines Tages als eine Curve auf, deren Abscissen die Zeiten sind. Jene erwähnten Parallellinien, die auf das sorgfältig behandelte Papier vorher aufgedruckt sind, haben theils vertikale, theils horizontale Richtungen. Die horizontalen Linien bezeichnen alsdann die Höhen-Maafse, die vertikalen dagegen die Stunden. Dafs die Papierbogen vor dem Auflegen auf die Walze genau beschnitten, auch gegen passende Ränder der Walze gelehnt und sicher dagegen befestigt werden müssen, bedarf kaum der Erwähnung, ich mufs aber hinzufügen, dafs nach den mir gemachten Mittheilungen das Abnehmen des einen und Aufbringen des andern Bogens nicht mehr als eine halbe Minute in Anspruch nimmt, also die graphische Darstellung der Wasserstands-Curve an jedem Tage nur eine höchst geringe Lücke hat, woher man beim Zusammenstellen dieser Scalen ein vollständiges Bild der Fluthwellen gewinnt. Neben diesen Apparaten müssen aber noch gewöhnliche feste Pegel aufgestellt sein, durch deren Vergleichung man sich überzeugen kann, ob der Schwimmer stets gleichmäfsig eintaucht und ob auch sonst keine Unregelmäfsigkeiten eintreten. Der Stift besteht aus einem gewöhnlichen Reifsblei, das aus einer entsprechenden Röhre vortritt und eine feine und leicht erkennbare Linie auszieht.

Dieselbe Einrichtung ist auch sonst, wenngleich mit manchen Modificationen zu demselben Zweck gewählt. Namentlich ist man insofern davon abgewichen, als man das Reifsblei verworfen und dafür einen Kupferdraht gewählt hat, der in eine stumpfe Spitze ausläuft. Man erreicht dabei den Vortheil, dafs Letztere sich nicht so leicht abnutzt und zugleich eine feinere Linie beschreibt, die aber nicht durch Färbung dargestellt wird, sondern sich nur in das Papier eindrückt. Nichts desto weniger ist auch diese bei angemessner Spannung der Feder leicht zu erkennen und kann durch Nachziehn mit Tusche noch klarer dargestellt und fixirt werden.

Einige andre Abänderungen sind bei dem im Helder aufgestellten Apparat angebracht*). Der grofse Schwimmer ist mit

*) Beschrijving der zelfregistrerende peilschaal aan den Helder van C. v. d. Sterr, in den Verhandelingen van het koninklijk Instituut van Ingenieurs. 1852—1853. pag. 51.

einer hölzernen Latte verbunden, welche unmittelbar den jedesmaligen Wasserstand gegen einen festen Nonius ablesen läfst. An zwei andern Maafsstäben daneben wird je eine Klemme erfafst, die auf- oder abwärts geschoben wird und dadurch den nächst vorhergegangenen höchsten und den niedrigsten Wasserstand anzeigt. Die Uebertragung der Bewegung des Schwimmers auf den Block und auf den zeichnenden Stift erfolgt nicht durch Drähte, sondern durch gezahnte Stangen. Die Uhr dreht aber nicht einen Cylinder, um den das Papier geschlungen wird, sondern schiebt einen Rahmen horizontal vor, und dieser nebst dem darauf gespannten Papier hat solche Gröfse, dafs die jedesmalige Zeichnung zwei Tage umfafst. Zur Controlirung des Apparats und namentlich, um sich zu überzeugen, dafs der Schwimmer stets gleichmäfsig eintaucht, ist ganz unabhängig von demselben noch ein zweiter kupferner Schwimmer in dem Brunnen angebracht, der gleichfalls eine eingetheilte Scale trägt. Noch mufs erwähnt werden, dafs der Brunnen nicht vom Hafen Nieuwendiep aus, sondern aus dem Marsdiep, oder aus dem Strom zwischen dem Helder und der Insel Texel gespeist wird, und dass zu diesem Zweck eine lange eiserne Röhre von 9 Zoll Durchmesser unter den Hauptdeich gelegt ist. Da diese Röhre aber bei dem sehr unreinen Wasser leicht sich verstopfen kann, so mufste auf deren periodische Reinigung Rücksicht genommen werden. Zu diesem Zweck ist gleich bei der Anlage eine Kette hindurchgezogen, deren äufseres Ende von einer Buoye im Strom schwimmend erhalten wird, und deren andres Ende neben dem Brunnen befestigt ist. Diese Kette ist mit einem Räumer versehn, und wenn man sie hin- und herzieht, so entfernt der letztere den erdigen Niederschlag aus der Röhre.

In neuster Zeit hat der Civil-Ingenieur F. H. Reitz in Hamburg den selbstregistrirenden Pegel noch mit einer Vorrichtung verbunden, mittelst deren man den mittlern Wasserstand in einfachster Weise finden kann*). An der Achse der grofsen Rolle, welche durch die Hebung oder Senkung des Schwimmers

---

*) Die nähere Beschreibung dieses Apparates ist in dem Jahresbericht der Hamburgischen geographischen Gesellschaft für 1876 mitgetheilt.

gedreht wird, befindet sich nämlich ein kleines gezahntes Rädchen. Dasselbe greift in eine Zahnstange, die der Aenderung des Wasserstandes entsprechend sich hin- und herschiebt. Aus dem einen Ende dieser Stange tritt eine Diamant-Spitze vor, welche die Fluthwelle auf das geschwärzte Kreidepapier zeichnet, das auf den täglich einmal umdrehenden Cylinder gespannt ist. Am andern Ende trägt die Stange eine oder zur Controlle zwei kleine Scheiben, die in ähnlicher Weise wie beim Wetli-Hansenschen Planimeter auf einer horizontalen Glasscheibe ruhn. Die Glasscheibe wird durch dieselbe Uhr in 6 Stunden einmal umgedreht und aus der Anzahl von Umdrehungen jener kleinen, aufrecht stehenden Scheiben, die sich der Drehungs-Achse der Glasscheibe bald nähern, und bald sich davon entfernen, läfst sich leicht die Höhe des Rechtecks finden, dessen Fläche mit derjenigen der Fluthwelle übereinstimmt. Man braucht indessen keineswegs nach jedesmaliger Umdrehung der Glasscheibe die Anzahl der Revolutionen und deren Unterabtheilungen von der kleinen Scheibe abzulesen, dieses kann vielmehr in beliebig langen Intervallen geschehn, wenn der Zähl-Apparat hiernach eingerichtet ist. Auch das Papier auf dem Cylinder braucht nicht jeden Tag erneut zu werden, die Contouren der Fluthwellen sollen sich vielmehr noch deutlich erkennen lassen, wenn auch bis 60 solcher Wellen über einander gezeichnet sind.

Endlich führe ich noch an, dafs man diese Apparate zuweilen auch in der Art verändert hat, dafs das aufgespannte Papier nicht vorher mit den Linien bezeichnet wird, welche sowol die Höhen als die Zeiten angeben, und wobei leicht durch unrichtige Befestigung fehlerhafte Angaben veranlafst werden könnten. Es wird vielmehr ein fester Stift über oder unter dem beweglichen angebracht und dieser zieht eine gerade Linie in bestimmter Höhe. Die vertikalen Abstände beider Linien ergeben alsdann die Wasserstände, und die zugehörigen Zeiten findet man leicht, wenn man jedesmal die Stunde und Minute notirt, in welcher nach dem Aufspannen eines neuen Papierbogens der Apparat in Thätigkeit gesetzt und schliefslich wieder ausgerückt wird.

§. 8.

Fluth und Ebbe in der Ostsee.

In die Binnenmeere, welche nur durch schmale Oeffnungen mit dem Weltmeer verbunden sind, dringt die Fluthwelle ohne Zweifel gleichfalls ein, indem sie aber nach ihrem Eintritt sich weit ausbreitet, so nimmt ihre Höhe, oder der Fluthwechsel so sehr ab, dafs er sich den gewöhnlichen Beobachtungen gemeinhin ganz entzieht. Das Mittelländische Meer zeigt an manchen Stellen und vorzüglich gegen das Ende des Adriatischen Meers einen bedeutenden Fluthwechsel, während ein solcher an andern Küsten, namentlich an der Französischen nicht bemerkbar sein soll. Dieses wurde mir wenigstens von den Ingenieuren gesagt, als ich in Marseille, Cette und in mehreren andern Häfen mich hiernach erkundigte. Das in jedem Jahr von der Französischen Marine publicirte annuaire des marées des côtes de France enthält dagegen die Hafenzeiten für einige Punkte der südlichen Französischen, sowie der Italienischen und Illyrischen Küste, die Gröfse des Fluthwechsels wird aber nicht angegeben.

Ob in der Ostsee eine geringe Fluth statt findet, war lange zweifelhaft. Bei Kiel hatte man freilich einen regelmäfsigen Wechsel des Wasserstandes immer bemerkt. An den Dänischen Inseln war ein solcher gleichfalls wahrgenommen, wie Schumacher in einer Anmerkung zu Bessel's Vorlesung über Fluth und Ebbe sagt, auch war es den Lootsen in Travemünde nicht entgangen, dafs bei ruhiger Witterung der Strom in 24 Stunden zweimal ein- und zweimal auszugehn pflegt. Nichts desto weniger war ganz allgemein die Ansicht verbreitet, dafs die Ostsee keine Fluthen habe, und in der That erkannte der Seemann, der in andern Meeren die grofsartigen Wirkungen dieser Erscheinung gesehn, und erfahren hatte, welchen wesentlichen Einflufs dieselbe auf den Betrieb der Schiffahrt ausübt, in dem sehr geringen regelmäfsigen Wasserwechsel unserer Häfen die Fluth und Ebbe nicht wieder.

Das lebhafte Interesse, welches Alexander von Humboldt hieran nahm, und seine Anfrage, ob gar keine Spur der Fluth

sich in der Ostsee nachweisen lasse, veranlafsten mich, die in unsern Häfen bisher angestellten Wasserstands-Beobachtungen in dieser Beziehung zu vergleichen. Diese Beobachtungen reichen grofsentheils bis in das vergangene Jahrhundert zurück, da sie aber früher nicht in einer bestimmten Stunde gemacht waren, vielmehr nur den Wasserstand jedes Tages, wie er gelegentlich abgelesen war, angaben, so blieben sie für diesen Zweck ganz unbrauchbar. Erst im Jahre 1845 wurde die Vorschrift erlassen, dafs der Wasserstand jedesmal Mittags um 12 Uhr beobachtet und in die Tabelle eingetragen werden solle. Seit dieser Zeit geben die Tabellen also einen sichern Anhalt zur Entscheidung der vorliegenden Frage.

Indem der Mond von einem Tage zum andern seine Stellung zur Sonne ändert, so müssen die täglich am Mittage gemachten Beobachtungen den Einflufs dieser verschiedenen Stellungen nachweisen und etwa in vierzehn Tagen eine volle Periode umfassen, aus der sich die Zeit des Hoch- und Niedrigwassers entnehmen läfst. In dieser Weise war auch bereits durch das Grofsherzoglich Mecklenburgische Statistische Bureau das Vorhandensein der Fluth und Ebbe im Hafen von Wismar nachgewiesen*).

Die Resultate dieser Vergleichung der täglichen Wasserstands-Beobachtungen in den Preufsischen Häfen und zwar für den Zeitraum von 1846 bis 1856 sind in den Abhandlungen der mathematischen Klasse der Königl. Academie der Wissenschaften für 1851 veröffentlicht, und sie ergeben für einige Häfen und Lootsen-Stationen unzweifelhaft das Vorhandensein der Fluth und deren Fortschreiten von Westen nach Osten. Die Mehrzahl dieser Tabellen führten dagegen zu keinem Resultat. Gerade diese waren es aber, welche schon bei flüchtiger Durchsicht den Verdacht erweckten, dafs auf ihre Zusammenstellung wenig Sorgfalt verwendet sei. Der Lootse beobachtet den Wasserstand so genau, als es für die Zwecke der Schiffahrt nöthig ist, und auf einzelne Zolle legt er wenig Gewicht. Diese Tabellen enthielten daher grofsentheils nur Angaben in Viertel Fufsen und vielfach war derselbe Wasserstand mehrere Wochen und selbst Monate hindurch

*) Ueber die Wahrnehmbarkeit von Ebbe und Fluth in der Ostsee. Archiv für Landeskunde. Schwerin 1856.

beibehalten. Andre Tabellen, die augenscheinlich mit mehr Sorgfalt aufgestellt waren, ergaben das auffallende Resultat, dafs mehrere Jahre hindurch mit grofser Sicherheit eine gewisse Hafenzeit sich herausstellte, die plötzlich um einige Stunden sich veränderte und eben so regelmäfsig sich alsdann wieder fortsetzte. Der Grund hiervon ist wohl ohne Zweifel darin zu suchen, dafs die Pegel bei etwaigem Personenwechsel in einer andern Stunde abgelesen wurden. Die erwähnte Vorschrift in Betreff der Beobachtungszeit wird selten in aller Strenge beachtet. Der Dienst bringt es mit sich, dafs der Wasserstand schon am frühen Morgen abgelesen werden mufs, und wenn er sich nicht stark ändert, so wird diese Ablesung auch in die Tabelle eingetragen. Es ergiebt sich aber einfach, dafs die berechnete Hafenzeit um eben soviel Stunden von der richtigen abweicht, als die Ablesungen zu früh oder zu spät gemacht sind.

Unter diesen Umständen konnten nur die Resultate für diejenigen Beobachtungsorte als sicher angesehn werden, woselbst die einzelnen Jahrgänge ungefähr zu denselben Hafenzeiten führten. Dieses war der Fall:

1. auf der Pegel-Station Barhöft. Dieselbe liegt 2 Meilen nördlich von Stralsund auf der Ecke, die das Stralsunder Fahrwasser von dem Barther trennt. Die Hafenzeit daselbst fand ich 7 Uhr 27 Minuten und den mittlern Fluthwechsel 1,5 Zoll.

2. Die Lootsen-Station bei Wittower Posthaus, etwa 2 Meilen nordwestlich von der ersten, auf der südlichen Spitze der langen Halbinsel, die sich von Wittow ab an dem Stralsunder Fahrwasser hinzieht. Hafenzeit 7 Uhr 37 Min., Fluthwechsel 1,3 Zoll.

3. Glowe, am nordwestlichen Ende von Jasmund auf Rügen, woselbst nur während einiger Monate Beobachtungen angestellt waren. Hafenzeit 7 Uhr 39 Minuten. Fluthwechsel 1,4 Zoll.

4. Für den Hafen Stolpmünde ergaben die dreijährigen Beobachtungen 1846 bis 1849 sehr übereinstimmend die Hafenzeit 11 Uhr 36 Minuten und den mittlern Fluthwechsel 1,0 Zoll. Aus den folgenden Jahrgängen konnten keine übereinstimmende Resultate gezogen werden.

Die auf den übrigen Pegel-Stationen der Ostsee angestellten Beobachtungen führten zu keinem Resultat, das auch nur einigermaafsen sicher gewesen wäre.

Die Methode, nach welcher die Rechnungen geführt sind, dürfte vielleicht auch anderweitig Anwendung finden, um schwache Spuren von Fluth und Ebbe sicher zu erkennen. Sie ist folgende.

Zuerst wurden die Tage des Voll- und Neumondes, so wie des ersten und letzten Viertels bezeichnet. Jedes Zeitintervall zwischen zwei Mondphasen wurde alsdann in sieben gleiche Theile getheilt und wenn die Periode, wie gewöhnlich 7 Tage umfaſste, wurden die Beobachtung jedes Tages unmittelbar in die Tabelle eingetragen. Zählte die Periode dagegen 6 oder 8 Tage, so musste der auf die Theilpunkte treffende Wasserstand durch Interpolation ermittelt werden. Die Tabelle hatte vierzehn Spalten. In die erste Spalte wurde der Wasserstand am Tage des Vollmondes oder des Neumondes, in die achte der am Tage des ersten und letzten Viertels und in die übrigen die der zwischen liegenden und folgenden Tage, unverändert oder eventuell nach der erwähnten Interpolation, eingeschrieben.

Die für jeden Jahrgang aus den einzelnen Spalten gezogenen Summen wurden demnächst als Ordinaten der Curve, die wie oben gezeigt worden, eine Sinuslinie ist, behandelt, und es kam darauf an, die Zeit, oder die Abscisse des obern Scheitelpunkts und die Differenz der Ordinaten der obern und untern Scheitel zu bestimmen. Hierbei muſste aber augenscheinlich diejenige Sinuslinie ermittelt werden, welche sich den 14 gegebenen Ordinaten am vortheilhaftesten anschlieſst. Die Achse dieser Sinuslinie lieſs sich leicht finden, da eine einfache Betrachtung ergab, daſs der wahrscheinlichste Werth ihrer Höhe durch das arithmetische Mittel aus allen Ordinaten gegeben ist. Hiernach konnten die Ordinaten leicht auf diese Achse reducirt werden.

Wird nun der obere Scheitel der Sinuslinie als Anfangspunkt der Abscissen angesehn, so ist die Gleichung der Curve

$$y = b \,.\, \text{Cos}\, x$$

wenn b den Abstand des obern und untern Scheitels der Curve von der Achse, oder die Hälfte des gesuchten mittlern Fluthwechsels bezeichnet. y ist die Ordinate, welche für jeden Theilpunkt aus der erwähnten tabellarischen Zusammenstellung der Beobachtungen zu entnehmen ist, und endlich ist x die zugehörige Abscisse, deren Anfangspunkt durch das Loth gegeben wird, welches von dem gesuchten obern Scheitel auf die Achse fällt.

Die ganze Länge der Achse für die volle Sinuslinie ist gleich 2π, und indem sie in 14 Theile getheilt wird, so misst jeder derselben $25^0\ 42', 87$. Diese Einheit, welche ich c nenne, ist den 14 Ordinaten entsprechend mit 0, 1, 2, 3 u. s. w. bis mit 13 (im Allgemeinen mit n) zu multipliciren, um die Abscissen darzustellen, welche von dem Voll- und Neumonde ab gezählt werden. Setze ich endlich die noch unbekannte Abscisse des obern Scheitels der Sinuslinie und zwar unter Beibehaltung desselben Anfangspunktes und gleichfalls in Graden und Minuten ausgedrückt gleich u, so wird

$$x = nc - u$$

und $$y = b \,.\, \mathrm{Cos}\,(nc - u)$$

oder $$y = \mathrm{Cos}\, nc \,.\, b \,.\, \mathrm{Cos}\, u + \mathrm{Sin}\, nc \,.\, b \,.\, \mathrm{Sin}\, u$$

Indem die 14 Zahlenwerthe, welche die Tabelle für y ergiebt, und aufserdem die Sinus und Cosinus der bekannten Winkel nc eingeführt werden, so erhält man 14 Gleichungen, in welchen zwei Unbekannte, nämlich b Sin u und b Cos u vorkommen. Es handelt sich also darum, die wahrscheinlichsten Werthe der letztern zu finden, und hierbei tritt die wesentliche Erleichterung ein, dafs $c = \frac{1}{7}\pi$ und dafs die Beobachtungen immer den ganzen Kreis umfassen, woher die Summen

$$\Sigma\,(\mathrm{Sin}\, nc \,.\, \mathrm{Cos}\, nc) = 0$$
$$\Sigma\,(\mathrm{Sin}\, nc \,.\, \mathrm{Sin}\, nc) = 7$$
$$\Sigma\,(\mathrm{Cos}\, nc \,.\, \mathrm{Cos}\, nc) = 7$$

Führt man diese Werthe in die Ausdrücke ein, welche nach der Methode der kleinsten Quadrate für die beiden Unbekannten sich ergeben, so fällt im Zähler und Nenner jedesmal ein Glied fort, und aufserdem hebt sich der Nenner gegen einen Factor des Zählers auf, so dafs man die sehr einfachen Formeln erhält

$$b\,\mathrm{Sin}\, u = \tfrac{1}{7}\,\Sigma\,(y\,\mathrm{Sin}\, nc)$$
$$b\,\mathrm{Cos}\, u = \tfrac{1}{7}\,\Sigma\,(y\,\mathrm{Cos}\, nc)$$

also $$tgt\, u = \frac{\Sigma\,(y\,\mathrm{Sin}\, nc)}{\Sigma\,(g\,\mathrm{Cos}\, nc)}$$

b ist seiner Natur nach immer positiv, die Zeichen der Werthe von b Sin u und b Cos u lassen daher leicht erkennen, in welchen Quadrant der Winkel u fällt.

u ist in dem auf diese Art gefundenen Resultat als Winkel, also in Graden und Minuten ausgedrückt, und es kommt darauf an, hieraus die Anzahl von Stunden zu finden, die zwischen der Zeit des Hochwassers und der Culmination des Mondes liegen. Indem die Länge der Achse der vollen Sinuslinie, die hier in 14 gleiche Theile getheilt war, die halbe Umlaufszeit des Mondes um die Erde bezeichnet, und während derselben der Eintritt des Hochwassers nach und nach um 12 Stunden sich verspätet, so entspricht jeder einzelne Theil einer Verspätung von $\frac{12}{14}$ Stunden. Da aber diese Länge der Achse einen vollen Kreis darstellt, so mifst jeder Theil derselben $\frac{360}{14}$ Grade. Hieraus ergiebt sich die gesuchte Hafenzeit in Stunden gleich

$$12 - \frac{12}{14} \cdot \frac{14}{360} \cdot u = 12 - \frac{1}{30} \cdot u$$

Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs die Minuten in dem Werthe des Winkels u vor der Einführung desselben in vorstehende Formel in Theile des Grades verwandelt werden müssen.

Ueber die Ausführung der Rechnung und über die daraus hergeleiteten Resultate ist noch Einiges zu erwähnen. Der Rechnung liegt die Voraussetzung zum Grunde, dafs die Achse der Sinuslinie horizontal ist, d. h. dafs während einer Beobachtungsperiode das Wasser unabhängig von Fluth und Ebbe weder steigt noch fällt. Dieses ist nur selten der Fall, um aber durch gar zu abweichende Wasserstände das Resultat nicht zu entstellen, so schlofs ich alle diejenigen Reihen aus, in welchen die erste Beobachtung von der letzten um mehr als 3 Zoll abwich, so wie auch alle diejenigen, in welchen von einem Tage zum andern das Wasser um mehr als 3 Zoll gestiegen oder gefallen war. Hierzu kommt noch, dafs alle Messungen ausgeschlossen werden mufsten, wo der Wasserstand wegen besonders hohen Seeganges oder wegen des Eises nicht sicher beobachtet werden konnte. Hiernach blieben für jeden Jahrgang nur etwa 7 und äufsersten Falls 10 Beobachtungsreihen übrig. Für die übrigen Stationen, in welchen der Fluthwechsel ohne Zweifel noch geringer wurde, führten die Rechnungen zu so abweichenden Resultaten, dafs von denselben ganz abgesehen werden mufste.

Die Gröfse *b* oder der mittlere halbe Fluthwechsel drückt keineswegs das arithmetische Mittel dieser Gröfsen aus, wie solche sich aus den einzelnen Beobachtungsreihen herausstellen würde, sondern bleibt immer unter demselben. Der Grund davon ist leicht einzusehn. Die einzelnen Reihen stellen nämlich keineswegs übereinstimmende Sinuslinien dar, vielmehr liegt der obere Scheitel der einen an anderer Stelle, als der der andern. Aufserdem hebt oder senkt eine dauernde Veränderung des Wasserstandes auch die beiden Enden der meisten dieser Curven. Die gesuchte mittlere Curve, welche sich allen einzelnen am besten anschliefsen soll, ist daher flacher gekrümmt, als die einzelnen es sind, oder *b* wird bedeutend kleiner gefunden, als das Mittel aus den halben Fluthwechseln in den einzelnen Beobachtungsreihen.

Es darf kaum erwähnt werden, dafs diese Beobachtungen den Unterschied zwischen Springfluthen und todten Fluthen gar nicht erkennen lassen, weil jede Reihe in gleicher Weise alle verschiedenen Fluthen umfafst und sich aus ihnen zusammensetzt. An den Tagen des Voll- und Neumondes giebt sie, wenn um 12 Uhr Mittags die Wasserstände gemessen werden, das Hochwasser, an den Tagen des ersten und letzten Viertels das Niedrigwasser an. Die gefundene Curve zieht sich also durch das Hochwasser der Springfluthen und das Niedrigwasser der todten Fluthen, woher sie auch den mittlern Wasserstand der See nicht erkennen läfst.

Indem hierzu noch kommt, dafs in den Perioden von 14 Tagen nur selten die Witterung beständig bleibt, auch die Resultate dieser Untersuchung zweifelhaft erscheinen dürften, so lange nicht nachgewiesen ist, dafs wirklich im Laufe des Tages der Wasserstand sich zweimal hebt und senkt, so schien es nothwendig, die Beobachtungen bei günstiger Witterung von Stunde zu Stunde wiederholen zu lassen.

Dieses ist in den Jahren 1857 und 1858 in den sämmtlichen Preufsischen Häfen und auf den sonstigen Lootsen-Stationen geschehn, und wenn auch auf einigen der letztern die Anzahl der Beobachtungsreihen, die eine volle Fluthperiode umfassen, zu geringe blieb, als dafs man ein sicheres Resultat daraus hätte herleiten können, so stellten dennoch diese Beobachtungen das

regelmäſsige Fortschreiten der Fluthwelle in der Ostsee viel überzeugender dar, als jene täglichen Beobachtungen. Auſserdem boten sie Gelegenheit, auch das Verhalten der Springfluthen und der todten Fluthen, so wie manche Eigenthümlichkeiten der Ostsee-Fluthen zu erkennen. In dieser Beziehung waren besonders wichtig die in Travemünde durch den Wasser-Baudirector Müller in Lübeck gefälligst angeordneten Beobachtungen, die nahe drei Jahrgänge umfaſsten und an jedem Tage von Morgen bis Abend stündlich gemacht sind. Sie lieſsen die Einzelheiten der Erscheinung viel deutlicher wahrnehmen, als die Messungen an der Preuſsischen Küste, weil die Fluthwelle bei Travemünde eine bedeutend gröſsere Höhe hat, als weiter östlich.

Es gab sich indessen bald zu erkennen, daſs namentlich bei anhaltend warmer Witterung auſser den von der Fluth herrührenden Schwankungen des Wasserstandes, derselbe noch von den regelmäſsig umsetzenden Land- und Seewinden abhängt. Oft bemerkt man, daſs drei und mehr Tage hintereinander in den Sommermonaten das Wasser während des Tages mehrere Zolle fällt, und während der Nacht wieder um eben so viel steigt. Beispielsweise stand am 1. Juli 1858 zwischen 7 und 9 Uhr Morgens bei frischem Südwest-Winde das Wasser bei Memel auf 2 Fuſs 1 Zoll. Indem der Wind hierauf nachlieſs und gegen Abend nach Osten umging, so fiel das Wasses bis 8 Uhr Abends bis auf 1 Fuſs 6 Zoll herab. An beiden folgenden Tagen wiederholte sich dieselbe Veränderung des Windes. Vom frühen Morgen bis einige Stunden nach Mittag war der Wind westlich und so stark, daſs er zeitweise als frisch bezeichnet ist. Abends wurde er dagegen sehr schwach, und ging nach Osten über. Am 2. Juli stand das Wasser zwischen 8 und 10 Uhr Morgens auf 1 Fuſs 10 Zoll, und fiel bis 8 Uhr Abends auf 1 Fuſs 7 Zoll. Am 3. Juli stand es von 5 bis 9 Uhr Morgens wieder auf 1 Fuſs $10^{1}/_{2}$ Zoll, während es um 5 Uhr Abends auf 1 Fuſs $6^{1}/_{2}$ Zoll herabsank.

Wenn man diese und alle ähnlichen Beobachtungen nach den Fluthperioden zusammenstellt, so sind die beiden Reihen, die zu demselben Tage gehören, wesentlich von einander verschieden. Falls daher während der Nacht keine Messungen angestellt sind, so fehlt die Ausgleichung der sehr groſsen von Fluth und Ebbe

unabhängigen Schwankungen, und man müfste aus den nur während des Tages angestellten Beobachtungen den regelmäfsig wiederkehrenden starken Wechsel des Wasserstandes als Wirkung der Fluth und Ebbe in Rechnung stellen, was er nicht ist. Es leuchtet ein, dafs man in diesem Fall, namentlich bei einer beschränkten Anzahl von Beobachtungsreihen leicht zu einem sehr unrichtigen Resultat gelangen würde.

Es rechtfertigt sich hiernach, dafs, soweit es geschehn konnte, auch während der Nacht die Beobachtungen fortgesetzt sind. In den bedeutendsten Häfen bot dieses keine Schwierigkeit, weil die Lootsenwache fortwährend besetzt bleibt, in den kleinern Häfen und auf den isolirten Lootsen-Stationen konnte es dagegen nur ausnahmsweise geschehn und mufste zum Theil ganz unterbleiben.

Die Anstellung der stündlichen Beobachtungen wurde wesentlich dadurch erleichtert, dafs die Lootsen-Commandeure vielfach eine auffallende Theilnahme dafür zeigten, und mit lebhaftem Interesse die schwachen Spuren von Fluth und Ebbe in ihren Häfen verfolgten. Namentlich in Swinemünde und Memel sind diese Beobachtungen nur bei stark bewegter See und beim Frost unterbrochen. Viele Reihen dieser Messungen konnten freilich nicht benutzt werden, denn zunächst fielen diejenigen von selbst aus, die keine volle Fluthperiode umfafsten. In dieser Beziehung gestattete ich mir, und namentlich für solche Stationen, wo nur wenige Messungen angestellt waren, die Ausnahme, dafs wenn die erste oder die letzte Beobachtung in einer Periode fehlte, ich diese aus den beiden nächstliegenden interpolirte. Dagegen sind aber alle diejenigen Reihen ausgeschlossen, in welchen die Differenz zwischen der ersten und letzten Beobachtung mehr als $4\frac{1}{2}$ Zoll beträgt. Es blieben nach dieser Ausscheidung im Ganzen noch über 1500 Beobachtungsreihen übrig, welche den Rechnungen zum Grunde gelegt werden konnten.

Diese Rechnungen stimmten wesentlich mit den für die täglichen Beobachtungen ausgeführten überein. Um jedoch möglichst genaue Resultate zu erhalten, suchte ich theils aus den einzelnen Beobachtungsreihen, und theils aus den Zusammenstellungen derselben noch den Einflufs zu beseitigen, welchen das von Fluth und Ebbe unabhängige Steigen oder Fallen des Wassers auf das

Resultat ausübt. Indem nämlich die Wasserstände jeder Fluthperiode wieder die Ordinaten einer Sinuslinie sind, deren Achse aber, wenn das Wasser im Allgemeinen steigt oder fällt, nicht horizontal ist, so drehte ich, nachdem die Ordinaten gezeichnet und der Durchschnittspunkt der mittlern Ordinate mit der Achse bestimmt war, letztere soweit, dafs die Curve sich anscheinend am vortheilhaftesten einer Sinuslinie anschlofs. Man könnte freilich die Neigung der Achse noch als dritte Unbekannte einführen und ihren wahrscheinlichsten Werth ganz methodisch bestimmen. Die Rechnung erschwerte sich dadurch aber in so hohem Grade, dafs ich bei der mehr als hundertfachen Wiederholung derselben mich hierzu nicht entschliefsen mochte.

Zunächst bezeichnete ich in den Wasserstands-Beobachtungen die Stunde der obern und untern Culmination des Mondes, d. h. die volle Stunde, welche der im Berliner astronomischen Jahrbuch angegebenen Culminations-Zeit am nächsten liegt. Diese Bestimmung war durchaus genügend, da die aus dem Längen-Unterschiede gegen Berlin herrührende Differenz im Stande des Mondes gegen die Sonne im äufsersten Falle nur eine halbe Zeitminute betrug.

Sodann trug ich die Beobachtungen in eine Tabelle ein, die 13 Spalten hatte. In die erste wurde der Wasserstand 6 Stunden vor der Culmination, in die zweite 5 Stunden vor und so fort bis 6 Stunden nach der Culmination eingetragen. Hierbei erlaubte ich mir aber, wenn am Anfange oder am Ende einige Beobachtungen fehlten, diejenige, die 7 Stunden nach der Culmination gemacht war, in die erste Spalte einzutragen oder umgekehrt. Namentlich sah ich mich hierzu oft gezwungen, wenn die Messungen während der Nacht unterbrochen waren.

Aus den Zahlen in jeder Spalte wurden nunmehr die arithmetischen Mittel genommen, und dieses waren die Ordinaten der zu bestimmenden Sinuslinie. Die Zwischenzeit von einer Culmination des Mondes bis zur nächsten beträgt durchschnittlich $12^{st.}\ 25'\ 14'',2$ oder 12,4206 Stunden. Die beiden äufsern Ordinaten gehören daher zusammen zu 1,4206 Stunden, während jede andere 1 Stunde darstellt. Um demnach die Höhe der Achse der Sinuslinie zu finden, mufs die Summe der beiden äufsern mit 0,7103 multiplicirt, und nachdem dieses Product zu

den Werthen der übrigen addirt ist, die ganze Summe durch 12,4206 dividirt oder mit 0,0805 multiplicirt werden. Dieser Werth stellt aber auch, wenn eine Neigung der Achse angenommen wird, die Höhe des Durchschnittspunktes der Achse mit der Ordinate dar, welche in die Stunde der Culmination des Mondes fällt.

Nachdem die Ordinaten y auf die Achse reducirt sind, haben sie theils das positive und theils das negative Zeichen. x bezeichne wieder die zugehörigen Abscissen, deren Anfangspunkt lothrecht unter dem obern Scheitel der Curve liegt, und b sei der Abstand des obern und untern Scheitels von der Achse. Alsdann ist

$$y = b \operatorname{Cos} x$$

Wenn man nun, übereinstimmend mit den Beobachtungen, die Abscissen von der Stunde der Culmination des Mondes, oder von der mittlern Ordinate ab zählt, so ist

$$x = u + n c$$

u ist die Abscisse, die zum obern Scheitel der Sinuslinie gehört, und von der zunächst angenommen wird, dafs sie negativ ist, oder dafs das Hochwasser vor der Culmination des Mondes eintritt. n ist die Anzahl der Stunden, um welche die Beobachtung vor oder nach der Culmination gemacht ist, und c die Abscisse, welche einer Stunde entspricht.

$$c = \frac{2\pi}{12{,}4206} = 28^{\circ}\, 59'\, 2'', 8$$

Indem man für n die ganzen Zahlen von -6 bis $+6$ schreibt, so erhält man die dreizehn Winkel, deren Functionen bei jeder einzelnen Rechnung den Zahlen in den 13 Spalten entsprechend sich wiederholen.

$$\begin{aligned} y &= b \operatorname{Cos} (u + n c) \\ &= \operatorname{Cos} n c \,.\, b \operatorname{Cos} u - \operatorname{Sin} n c \,.\, b \operatorname{Sin} u \end{aligned}$$

Bekannt sind in diesem Ausdrucke y, Cos $n c$ und Sin $n c$. Die beiden Unbekannten b Cos u und b Sin u findet man

$$b \operatorname{Sin} u = - \frac{\Sigma (y \operatorname{Sin} n c)}{\Sigma (\operatorname{Sin} n c \,.\, \operatorname{Sin} n c)}$$

und

$$b \operatorname{Cos} u = \frac{\Sigma (y \operatorname{Cos} n c)}{\Sigma (\operatorname{Cos} n c \,.\, \operatorname{Cos} n c)}$$

Aus den vorstehend angegebenen Winkeln ergiebt sich

$$\log \Sigma (\operatorname{Sin} n c \,.\, \operatorname{Sin} n c) = 0{,}79252$$

und

$$\log \Sigma (\operatorname{Cos} n c \,.\, \operatorname{Cos} n c) = 0{,}83233$$

Die Rechnung wird hiernach überaus leicht. Man schlägt ein für allemal die Logarithmen von Sin nc und Cos nc auf, schreibt die dreizehn Werthe derselben auf ein Blättchen, das sich den Spalten der Tabelle anschliefst, und summirt sie zu den Logarithmen von y. Die Rechnung darf nicht genauer, als mit drei Decimalstellen gemacht werden. Zieht man nun $\log b$ Cos u von $\log b$ Sin u ab, so erhält man die Tangente von u in Graden und Minuten, es ist aber vortheilhaft, u nur in Graden und Decimaltheilchen derselben auszudrücken. Aus den Zeichen der trigonometrischen Functionen ersieht man, in welchen Quadrant u fällt. Der Werth von b läfst sich, indem man Sin u und Cos u abzieht, aus beiden Ausdrücken finden.

Indem nun die Länge der ganzen Achse gleich

$$360^{0} = 12{,}4206 \text{ Stunden}$$

ist, so darf man die gefundene Anzahl von Graden nur mit 0,0345 multipliciren, um u in Stunden auszudrücken. Ist u positiv, so tritt das Hochwasser vor der Culmination des Mondes ein, bei negativem u dagegen nach derselben. Im letzten Fall bezeichnet u unmittelbar die Hafenzeit, weil am Tage des Voll- und Neumondes die Sonne und der Mond nahe zu gleicher Zeit culminiren, im ersten Fall mufs man dagegen die gefundene Stundenzahl von 12 abziehn. Im Folgenden ist jedesmal die Zeit desjenigen Hochwassers berechnet, welches der Culmination des Mondes am nächsten liegt, oder für welches u kleiner als 180 Grade ist.

Indem ich in dieser Weise die Beobachtungen berechnete, so überzeugte ich mich bald, dafs die Hafenzeiten für denselben Ort sehr verschieden ausfielen, je nachdem die zum Grunde gelegten Beobachtungsreihen mehr oder weniger Springfluthen oder todte Fluthen umfafsten. In dieser Beziehung mufste also noch eine Sonderung eingeführt werden. Nichts desto weniger blieben nicht nur in der Bestimmung von b, sondern auch in der von u sehr bedeutende Differenzen. Eine fernere Trennung der Beobachtungsreihen nach den Monaten führten keine gröfsere Ueber-

einstimmung herbei, es ergab sich also, dafs die Fluthwelle im Sommer, oder im wärmern Wasser, eben so schnell, wie im Winter fortschreitet. Dagegen zeigt es sich deutlich, dafs die Richtung und Stärke des Windes einen wesentlichen Einflufs auf die Zeit des Hochwassers ausübt. Westliche Winde beschleunigen die Fluthwelle in der Ostsee, während östliche sie verzögern. Namentlich in den vom Sunde und den Belten weit entfernten Häfen ist die Einwirkung des Windes sehr grofs. So traten bei anhaltendem Westwinde die Springfluthen zwischen dem 26. und 29. Juni 1858 in Memel um zwei Stunden früher ein, als sonst geschieht, und viele Beobachtungsreihen sind vollständig umgekehrt, indem das Hochwasser in eine Zeit fällt, wo die übrigen Beobachtungen Niedrigwasser ergeben. Man darf deshalb nicht hoffen, aus wenigen Beobachtungsreihen die Zeit des Hochwassers sicher zu bestimmen. Es mufs aber wieder darauf aufmerksam gemacht werden, dafs die Abweichung der einzelnen Beobachtungsreihen in dieser Beziehung auch einen wesentlichen Einflufs auf den Werth von b, oder auf die Gröfse des halben Fluthwechsels hat. b wird nämlich immer um so kleiner, je weniger die Zeiten des Hochwassers mit einander übereinstimmen. Nach einzelnen Reihen ist der Fluthwechsel oft doppelt so grofs, als er sich für diejenige Sinuslinie herausstellt, welche der Summe mehrerer Reihen am besten entspricht.

Die Unbekannte u in Stunden ausgedrückt, kann man nicht mehr Hafenzeit nennen, sobald sie für Springfluthen und andere Fluthen verschiedene Werthe annimmt, wie an den Ostseeküsten unzweifelhaft der Fall ist. Sie bezeichnet den Zeit-Unterschied zwischen der Culmination des Mondes und dem Eintritt des Hochwassers. Ich nenne sie in der folgenden Zusammenstellung T, und zwar bedeutet das davor stehende positive Zeichen, dafs das Hochwasser nach der Culmination, das negative aber, dafs dasselbe vor der Culmination erfolgt. Um eine Vergleichung der verschiedenen Werthe von T unabhängig von der aus dem Längen-Unterschiede der Beobachtungsorte entspringenden Zeit-Differenz anstellen zu können, ist noch die Reduction auf Berliner Zeit beigefügt. T' bezeichnet nämlich die Stundenzahl, um welche das Hochwasser nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian der Berliner Sternwarte eintritt.

Die nachstehenden Beobachtungsorte sind grofsentheils die bekannten Seehäfen. Die Lage der Station Glowe auf Rügen ist schon oben bezeichnet. Thiessow ist die Lootsen-Station auf der südöstlichen Spitze der Halbinsel Mönchgut auf Rügen, und West-Dievenow endlich die Lootsen-Station am Ausflufs der Dievenow ohnfern Cammin.

Die Classification der Fluthen ist in der Art geschehn, dafs die sieben Fluthen, welche dem Voll- und Neumonde zunächst folgen, Springfluthen, die sieben ersten Fluthen nach dem ersten und letzten Viertel todte Fluthen und die übrigen mittlere Fluthen genannt sind.

Beobachtungsort	Anzahl der Beob.Reih.	T	T'	b
I. Springfluthen.				
Travemünde	134	— 6,32	— 6,15	2,19 Zoll
Glowe	5	— 3,72	— 3,72	0,40 -
Thiessow	5	— 2,08	— 2,08	1,25 -
Swinemünde	122	— 1,60	— 1,66	0,56 -
West-Dievenow . . .	5	— 0,96	— 1,05	1,02 -
Colbergermünde	19	— 0,06	— 0,21	0,40 -
Rügenwaldermünde . .	16	+ 0,01	— 0,19	0,47 -
Neufahrwasser	5	+ 2,66	+ 2,31	0,37 -
Pillau	9	— 0,58	— 1,02	0,32 -
Memel	96	+ 0,82	+ 0,31	0,24 -
II. Mittlere Fluthen.				
Travemünde	277	— 5,73	— 5,56	1,88 Zoll
Glowe	18	— 4,13	— 4,13	0,24 -
Thiessow	3	— 3,02	— 3,02	0,74 -
Swinemünde	134	— 0,91	— 0,97	0,22 -
West-Dievenow . . .	21	— 0,40	— 0,49	0,43 -
Colbergermünde . . .	55	+ 0,24	+ 0,10	0,42 -
Rügenwaldermünde . .	82	+ 0,14	— 0,06	0,24 -
Neufahrwasser	29	+ 2,41	+ 2,06	0,23 -
Pillau	31	— 0,46	— 0,89	0,21 -
Memel	155	+ 1,67	+ 1,15	0,16 -

Beobachtungsort	Anzahl der Beob.Reih.	*T*	*T'*	*b*
III. Todte Fluthen.				
Travemünde	138	— 5,32	— 5,15	1,85 Zoll
Thiessow	3	— 1,26	— 1,26	0,42 -
Swinemünde	72	— 0,66	— 0,69	0,48 -
West-Dievenow . . .	6	+ 1,66	+ 1,57	0,26 -
Colbergermünde . . .	11	+ 2,48	+ 2,34	0,55 -
Rügenwaldermünde . .	9	+ 1,93	+ 1,73	0,28 -
Stolpmünde	4	+ 3,82	+ 3,59	0,16 -
Neufahrwasser. . . .	7	+ 3,98	+ 3,62	0,29 -
Pillau	15	+ 2,58	+ 2,15	0,26 -
Memel	81	+ 4,72	+ 4,21	0,12 -

Wenn in dieser Zusammenstellung sich auch vielfache Unregelmäfsigkeiten und zwar eben so wohl in den Werthen von *T*, wie von *b* ergeben, so zeigt sich dennoch im Allgemeinen ganz unverkennbar, dafs die Fluthwelle von Westen nach Osten die Ostsee durchläuft und während ihres Laufes nach und nach an Höhe verliert. Die erheblichste Anomalie giebt sich bei Neufahrwasser zu erkennen, woselbst das Hochwasser später als in Pillau und mit Ausschlufs der todten Fluthen selbst später als in Memel eintritt. Der Grund hiervon ist in der starken Krümmung des Weges zu suchen, den die Fluthwelle machen mufs, um die Halbinsel Hela zu umkreisen und nach Neufahrwasser zu gelangen. Es wiederholt sich also hier dieselbe Erscheinung, auf welche schon bei den Fluthen im Atlantischen Ocean aufmerksam gemacht wurde. In ähnlicher Weise kommt auch die Fluthwelle, indem sie durch den Grofsen Belt in die Ostsee tritt, etwa eine Stunde früher nach Wismar, als nach Travemünde.

Setzt man voraus, dafs jede Fluthwelle im offenen Meer, und so lange sie dieselbe Richtung verfolgt, sich mit constanter Geschwindigkeit bewegt, so müfsten die Zeiten des Hochwassers den Längen der Wege entsprechen. Ich versuche hiernach, aus den beobachteten Zeiten deren wahrscheinlichste Werthe, und zugleich die Geschwindigkeit der verschiedenen Fluthwellen zu berechnen. Indem alle Wellen, welche die Preufsischen Beobach-

tungs-Stationen treffen, zwischen Rügen und der Schwedischen Küste hindurchgehn müssen, so habe ich die verschiedenen Wege von dem Meridian von Arcona ab gemessen. Neufahrwasser mufste hierbei aus dem bereits angegebenen Grunde unberücksichtigt bleiben. Bei der überwiegend grofsen Anzahl von Beobachtungen, die in Swinemünde und Memel angestellt sind, mufste aber den für diese Orte gefundenen Zeiten ein gröfseres Gewicht, als den übrigen, beigelegt werden. Ich gab ihnen das dreifache Gewicht.

Hieraus ergeben sich folgende Geschwindigkeiten der Fluthwellen:

1) bei Springfluthen 28,3 Deutsche Meilen in der Stunde mit dem wahrscheinlichen Fehler von 4,9 Meilen,

2) bei mittlern Fluthen 21,7 Meilen mit dem wahrscheinlichen Fehler von 5,6 Meilen und

3) bei todten Fluthen 14,1 Meilen mit dem wahrscheinlichen Fehler von 7,2 Meilen.

Die Unsicherheit der Bestimmung wird sonach um so gröfser, je schwächer die Welle ist. Dieses ist auch sehr erklärlich, weil die Winde alsdann einen stärkern Einflufs darauf ausüben.

Unter Voraussetzung dieser Geschwindigkeiten liefsen sich auch die wahrscheinlichsten Werthe für T berechnen. Die nachstehende Tabelle giebt an, um wieviel Stunden und Minuten das Hochwasser früher oder später eintritt, als der Mond durch den Meridian des betreffenden Ortes geht.

	bei Springfluthen.	bei mittl. Fluthen.	bei todten Fluthen.
Thiessow . .	1 St. 58 Min. früher.	1 St. 48 Min. früher.	0 St. 12 Min. früher.
Swinemünde .	1 - 35 - -	1 - 25 - -	0 - 20 - später.
West-Dievenow	1 - 31 - -	1 - 20 - -	0 - 26 - -
Colbergermünde	1 - 17 - -	1 - 4 - -	0 - 52 - -
Rügenwaldermünde . .	1 - 1 - -	0 - 43 - -	1 - 21 - -
Stolpmünde .	0 - 51 - -	0 - 30 - -	1 - 40 - -
Pillau . . .	0 - 13 - später.	0 - 56 - später.	3 - 46 - -
Memel . . .	0 - 50 - -	1 - 37 - -	4 - 46 - -

Aus der Vergleichung mit den obigen Zeiten ergeben sich die wahrscheinlichen Fehler dieser Resultate:

für Springfluthen 32 Minuten,
für mittlere Fluthen 44 Minuten,
für todte Fluthen 49 Minuten.

Eine besondere Betrachtung verdient die Verschiedenheit der Zeiten, in welchen vergleichungsweise zur Culmination des Mondes die Springfluthen und die todten Fluthen eintreten. Im Atlantischen Ocean, so wie auch in der Nordsee findet ein Unterschied in der Geschwindigkeit der verschiedenen Fluthwellen nicht statt. Sie werden zwar durch starke Winde beschleunigt, oder zurückgehalten, doch sind diese Abweichungen ohne Vergleich viel geringer, als diejenigen, welche sich aus der obigen Zusammenstellung ergeben und für Memel sogar nahe 4 Stunden betragen.

Aus den Englischen und Französischen Fluthtabellen, die nach vieljährigen Beobachtungen für eine grofse Anzahl Häfen zusammengestellt sind, ergiebt sich, dafs die Welle der todten Fluth von einem dieser Häfen bis zum andern, so lange sie im offenen Meer bleibt, eben so schnell läuft, als die der Springfluth. Ich stellte namentlich die Vergleichung zwischen Brest und Sunderland an, wozwischen der Weg, der sich um den Norden von Schottland herumzieht, über 300 Deutsche Meilen lang ist. Es ergab sich dabei aber gar keine Abweichung in der Differenz der Fluthzeiten bei verschiedenen Mondphasen. Die allgemein übliche Methode, die Zeit des Hochwassers für die Zwischenorte dadurch zu bestimmen, dafs eine gewisse Anzahl von Minuten zu den Hafenzeiten der Hauptorte hinzugefügt oder davon abgezogen wird, würde auch unrichtige Resultate geben, wenn die Fluthwelle bald schneller und bald langsamer sich bewegen sollte. Die in der Ostsee eintretende Erscheinung läfst sich nur durch die überaus geringe Höhe der Fluthwelle erklären, deren Bewegung um so leichter verzögert wird, je weniger sie ausgebildet ist.

In untern Stromtheilen, in welche noch hohe Fluthen eintreten, hat man indessen das langsamere Fortschreiten der Welle der todten Fluth schon vielfach bemerkt. Scott Russel spricht von dieser Verzögerung als von einer bekannten Thatsache. Auch die Vergleichung der in Hamburg und Cuxhaven angestellten Beobachtungen ergiebt, dafs die Springfluth diesen 14 Meilen langen Weg durchschnittlich in 4 Stunden 32 Minuten zurücklegt, während die todte Fluth dazu 4 Stunden 58 Minuten

braucht. Die Erscheinung ist zwar in sofern eine andre, als der entgegen tretende Ebbestrom in beiden Fällen aufgehoben und zurückgedrängt werden mufs, was der höheren Welle der Springfluth leichter gelingt, als der der todten Fluth. Nichts desto weniger ist eine gewisse Analogie doch nicht zu verkennen.

Die Beobachtungen von Travemünde, welche, wie bereits erwähnt, einen recht merklichen Fluthwechsel zeigen, boten noch die sehr erwünschte Gelegenheit, zu untersuchen, welche Fluth die höchste oder welche die eigentliche Springfluth ist. Durchschnittlich zeigte sich bei der vierten Fluth nach Voll- und Neumond die gröfste Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser. Diese betrug meist 9 bis 10 Zoll. Man darf hieraus schliefsen, dafs die Fluthwelle etwa 12 Stunden gebraucht, um den sehr unregelmäfsigen und vielfach gekrümmten Weg durch das Cattegat und den grofsen Belt zurückzulegen.

Schliefslich ist in Betreff der Fluth und Ebbe in der Ostsee noch zu erwähnen, dafs dadurch in ähnlicher Weise wie an den grofsen Meeren hin und wieder auch abwechselnde Strömungen veranlafst werden. Sehr auffallend sind dieselben bei Travemünde, wo bei ruhiger Witterung der Strom während vier und zwanzig Stunden zweimal ein- und zweimal auszugehn pflegt. In den Preufsischen Häfen stellt sich diese Erscheinung nirgend deutlich dar, obwohl die wechselnden Strömungen allerdings auch zum Theil durch die Fluth bedingt zu sein scheinen. Nur bei Thiessow, wo der Fluthwechsel besonders grofs ist, geht nach den daselbst gemachten Beobachtungen zur Zeit der Springfluthen der Strom in den Greifswalder Bodden ein und aus, je nachdem Fluth oder Ebbe statt findet. Es ergiebt sich hieraus, dafs ohnerachtet der sehr beschränkten Maafse, welche die Erscheinung der Fluth und Ebbe in der Ostsee annimmt, dennoch die Schifffahrt unter Umständen, und namentlich bei sehr ruhiger Witterung vielleicht einigen Nutzen daraus ziehn könnte.

§ 9.

Fluth und Ebbe in Strom-Mündungen.

In den Mündungen grofser Ströme, durch welche bedeutende Wassermassen aus dem Binnenlande abgeführt werden, gestalten

sich die Erscheinungen der Fluth oft so eigenthümlich, dafs sie schon aus diesem Grunde nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen. Sie gewinnen aber um so mehr Bedeutung, als sie auf die Schiffahrt überwiegenden Einflufs haben. Die meisten Seehäfen liegen an Strom-Mündungen, weil die aus- und eintretenden Wassermassen hier tiefere Rillen bilden, welche an sich schon zuweilen natürliche Häfen sind. Aufserdem mufs jeder Seehafen, wenn er nicht etwa nur Nothhafen ist, mit dem Binnenlande durch bequeme Wasserstrafsen in Verbindung stehn, und hierzu eignen sich vorzugsweise diese Ströme. Die Seehäfen befinden sich aber keineswegs immer nahe an der See, vielmehr ist es ein grofser Gewinn, wenn die Seeschiffe noch weit aufwärts den Strom befahren und in bedeutender Entfernung Handelsplätze erreichen können, welchen auf diese Weise die Gelegenheit geboten wird, sich unmittelbar an dem Seehandel zu betheiligen. In solchem Fall ist besonders die abwechselnd auf- und abwärts gerichtete Strömung von wesentlichem Nutzen, wie dieses beispielsweise der Schiffsverkehr von London und Hamburg zeigt.

Im Allgemeinen ist die Wirkung der Fluth und Ebbe auf das Strombett höchst vortheilhaft, weil sie Veranlassung giebt, dafs hier gröfsere Tiefen sich ausbilden und dauernd erhalten, als in den Mündungen andrer Ströme von gleichem Entwässerungs-Gebiete, die sich in Meere ergiefsen, welche keinen merklichen Fluthwechsel zeigen. Im letzen Fall führt der Strom nur die Wassermasse ab, welche ihm aus dem Binnenlande durch Nebenflüsse und Bäche zufliefst, und da sein Profil in der Mündung, und in noch höherem Maafse jenseit derselben sich stark erweitert, so ist die Strömung zu schwach, um ein tiefes Fahrwasser zu bilden und dauernd offen zu erhalten. Es bleibt alsdann nur übrig, solches in einen Canal zu verlegen, der das trübe Wasser nicht aufnimmt und an geeigneter Stelle in die See mündet. Dieses ist beispielsweise bereits im Jahr 1686 bei Neufahrwasser westlich von der Weichselmündung geschehn. In und vor der Mündung der Rhone haben gleichfalls die Ablagerungen solche Ausdehnung und Höhe erreicht, dafs selbst Fischerböte nicht immer darüber gehn können.

Das erwähnte Auskunftsmittel, die Verbindung mit der See durch einen Canal darzustellen, schützt das Fahrwasser allerdings

gegen Verflachung durch die vom Strom zugeführten Erd- und Sandmassen, aber keineswegs gegen den Sand, welcher durch Wellenschlag und Küstenströmung herbeigeführt, sich davor ablagert. Die ausgehende Strömung fehlt dabei vollständig, und mit ihr auch die natürliche Räumung des Fahrwassers. In Neufahrwasser sah man sich daher gezwungen, den Hafencanal immer aufs Neue bis zum tiefern Wasser zu verlängern, und so ist er endlich nahe ein Drittel Deutsche Meile lang geworden, während nunmehr kräftige Baggermaschinen unter dem Schutz der davor liegenden Halbinsel Hela fernern Verflachungen vorbeugen.

Bei Häfen an Meeren ohne merkliche Fluth und Ebbe ist es ein wesentlicher Gewinn, wenn ausgedehnte Binnenseen dahinter liegen, die bei gegenstehenden Winden grofse Wassermassen aufnehmen und diese später wieder abfliefsen lassen. Sie ersetzen in dieser Weise die Fluth- und Ebbeströmungen. In den Preufsischen Häfen Memel, Pillau und Swinemünde thun dieses die dahinter liegenden Haffe, und dasselbe geschieht auch in geringerem Maafse in Warnemünde und Travemünde, den Häfen von Rostock und Lübeck.

Wo aber auch ein stärkerer Fluthwechsel statt findet, kann die zur Erhaltung des Fahrwassers erforderliche Strömung sich nur darstellen, wenn entweder das Flufsbett selbst mit den anschliefsenden Watten hinreichenden Raum zur Aufnahme grofser Wassermassen bietet, oder in mäfsiger Entfernung Seen oder Moore liegen, über welche die Fluth sich verbreiten kann. Das Interesse der Landes-Cultur tritt in solchem Fall dem der Schiffahrt oft entgegen, indem die Versuchung nahe liegt, diese Niederungen einzudeichen und zum Getreidebau nutzbar zu machen. An der Französischen Küste des Canals können manche Häfen, die früher gröfsere Schiffe aufnahmen, jetzt nur noch von kleinen Fahrzeugen angelaufen werden, weil man im vorigen Jahrhundert die Eindeichungen zu sehr ausdehnte. Selbst bei Calais und Dünkirchen ist die Erhaltung des Fahrwassers hierdurch wesentlich erschwert. Als in neuerer Zeit in Hamburg der Vorschlag gemacht wurde, die sogenannte Dove Elbe, die oberhalb der Stadt einmündet, und die in ihrer obern Mündung schon lange durch einen wasserfreien Deich abgeschlossen war, auch unten zu schliefsen und dadurch ihr weites Thal culturfähig

zu machen, mufste der Antrag zurückgewiesen werden, weil der Eintritt der Fluth in dieses Thal zur Erhaltung des Fahrwassers in der Norder-Elbe nothwendig war.

Um eine kräftige Fluthströmung darzustellen, kommt es aber auch darauf an, das Strombett möglichst gerade zu führen, und die darin befindlichen Krümmungen zu beseitigen. In dieser Weise ist es gelungen, die Clyde aufwärts bis Glasgow für grofse Schiffe zugänglich zu machen, und als ich einst befragt wurde, ob das Fahrwasser der Weser von Vegesack aufwärts sich so verbessern lasse, dafs kleine Seeschiffe von 8 bis 9 Fufs Tiefgang bis Bremen aufkommen könnten, war ich überzeugt, dafs dieses nur möglich sei, wenn es gelänge, die Fluth weiter heraufzuziehn, die damals vor der Mündung der Ochtum, oberhalb Vegesack gewöhnlich aufhörte. Ich schlug daher im September 1845 vor, statt der stark gekrümmten und durch viele Inseln gespaltenen Strecke zwischen Moorlose und Vegesack, die überdiefs ganz im Oldenburgischen Gebiete lag, und von Bremen aus nicht corrigirt werden durfte, den durch ein Wehr gesperrten alten Lauf, die Niederbührener Weser, wieder zu eröffnen, die ziemlich gerade ist und sich überdiefs an die Richtung der untern Weser recht befriedigend anschliefst. Nach Beseitigung vielfacher Bedenken wurde endlich im Jahr 1852 zur Ausführung dieses Projects geschritten. Dabei traten sehr grofse Schwierigkeiten ein, die grofsentheils nicht technischer Natur waren. Der neue Wasserlauf ist auch gegenwärtig noch keineswegs vollständig ausgebildet, aber die frühern grofsen Hindernisse, welche die Lichterfahrzeuge fanden, sind verschwunden, und der Fluthwechsel, der sonst nur unter ungewöhnlichen Verhältnissen in Bremen bemerkt werden konnte, stellt sich jetzt regelmäfsig etwa in der Höhe von 2 Fufs daselbst ein, und hört nur bei Anschwellungen auf, wenn von oben her sehr grofse Wassermassen abgeführt werden.

Welcher wesentliche Nutzen der Schiffahrt aus der abwechselnd auf- und abwärts gerichteten Strömung entspringt, ist bereits erwähnt worden.

Dafs diesen grofsen Vortheilen gegenüber die starken Fluth- und Ebbe-Strömungen auch manche Uebelstände mit sich führen, ist nicht in Abrede zu stellen. Sie veranlassen gleich der Strömung der obern Flufsläufe Uferbrüche und Verwilderungen

der Fahrwasser, die bei grofser Geschwindigkeit um so nachtheiliger werden. Sie verstärken sich aber noch in hohem Maafse dadurch, dafs in einem sich selbst überlassnen Flufsbette sehr oft der Fluthstrom eine andre Rinne verfolgt, als der Ebbestrom und alsdann zwei Fahrwasser neben einander bestehn, von denen keins hinreichende Tiefe hat. Dieser Uebelstand mufs durch Strom-Correction beseitigt werden, und wenn solche im Allgemeinen auch nach denselben Grundsätzen, wie in den oberländischen Flüssen, auszuführen ist, so pflegen doch die viel gröfsern Dimensionen hier die Bauten sehr zu erschweren. Ueberdiefs müssen wegen des Wellenschlages auch solidere Constructionen gewählt werden, und der Salzgehalt des Wassers läfst das Weidengesträuch, das in andern Fällen so vortheilhaft die Ufer deckt, nicht anwachsen. Endlich sind die Ablagerungen, wenn man sie zur Ausbildung von Ufern benutzen will, so lange sie nicht die ordinäre Fluthhöhe erreichen, meist frei von jeder Vegetation, und widerstehn daher nur wenig dem Angriff des Wassers.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Wichtigkeit, welche die Fluth für die untern Stromstrecken hat, sind die eigenthümlichen Erscheinungen zu bezeichnen, die aus dem Zusammentreffen der beiden Strömungen entspringen. Wenn der Fluthstrom in der Mündung selbst auch sehr kräftig ist, so vermindert er sich doch weiter aufwärts, und man kommt endlich an eine Stelle, wo er aufhört, und beim ersten Steigen des Wassers dasselbe weder vor-, noch zurückfliefst, also seine Bewegung durch das Zusammentreffen beider Stömungen ganz vernichtet wird. Oberhalb dieser Stelle wird der Ebbestrom oder die Bewegung in derjenigen Richtung, welche der obere Stromlauf verfolgt, nicht mehr unterbrochen. Die Geschwindigkeit vermindert sich zwar auch hier, sobald das Unterwasser in Folge der Fluth sich erhebt, und man kann an diesen Stellen noch einen Fluthwechsel von mehreren Zollen bemerken, aber ein Fluthstrom findet hier nicht mehr statt.

Mit dieser veränderten Stärke der Strömung steht die ungleiche Dauer der Fluth und Ebbe in naher Beziehung. Hierauf ist schon früher aufmerksam gemacht worden, aber es

verdient besondere Erwähnung, dafs die Dauer der Fluth oder des Steigens des Wasserspiegels, sich immer mehr vermindert, je weiter man den Strom heraufgeht. An der Mündung hält die Fluth etwa 6 Stunden an, weiter aufwärts wird sie geringer und beschränkt sich zuletzt etwa auf 2 Stunden. Wenn sie noch kürzer wird, so giebt sie sich überhaupt nicht mehr zu erkennen. Hieraus folgt, dafs der vordere Schenkel in der Scale der Fluthwelle viel steiler sein mufs, als der hintere. Beim plötzlichen Andringen der Fluth, und indem diese in ihrer vollen Kraft das entgegenströmende Wasser aufhält, erfolgt ein schnelles Steigen, das jedoch von dem nach und nach sich ansammelnden Oberwasser bald wieder gemäfsigt wird. Der Ebbestrom führt dagegen nicht allein das eingedrungene Fluthwasser, sondern auch das Wasser aus dem Binnenlande ab, und wird durch letzteres nachhaltig gespeist.

Hieraus ergiebt sich, dafs die Fluth in den Strömen um so mehr geschwächt wird, je gröfser die Wassermasse ist, welche aus dem Binnenlande zufliefst. Dieses bestätigt sich auch ganz allgemein, denn zur Zeit der Anschwellungen der Ströme dringt die Fluth nicht soweit aufwärts, als bei kleinem Wasser, und gerade während der allerniedrigsten Wasserstände giebt der Fluthwechsel sich noch an Punkten zu erkennen, wo man solchen sonst nicht wahrnimmt.

Der Einflufs der Fluth auf die untern Stromtheile und die Aenderungen, die hierdurch im Wasserstande an verschiedenen Punkten, so wie im Gefälle, veranlafst werden, ergeben sich am deutlichsten aus Längenprofilen, wenn darin der Wasserspiegel eingetragen wird, wie er durch gleichzeitige Pegel-Beobachtungen an verschiedenen Orten gemessen ist. Zusammenstellungen dieser Art sind für mehrere Ströme in England und Schottland gemacht worden, besonders interessant ist aber das von Minard*) mitgetheilte Längenprofil der 3 Deutsche Meilen langen Strecke der untern Somme von Abbeville bis Le Crotoy, Saint-Valery gegenüber. Fig. 24 stellt dieses Profil mit den verschiedenen Linien

---

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des Ports de Mer. Paris 1846.

der an fünf Pegeln gleichzeitig beobachteten Wasserstände dar. Die Beobachtungszeiten sind in der Figur angegeben.

Die untere Linie, welche zwischen Noyelle nur etwa 6 Zoll von dem Flufsbett entfernt ist, bezeichnet den Wasserstand kurz vor dem Eintritt der Fluth. Letztere bemerkt man an der rechten Seite der Figur zuerst in der mit 9 Uhr 50 Minuten bezeichneten Linie. Die zweite Fluthlinie um 10 Uhr 25 Minuten gemessen, erhebt sich schon bedeutend und erstreckt sich weiter stromaufwärts. Die dritte, von 11 Uhr 17 Minuten erreicht bereits Noyelle, die fünfte von 12 Uhr 20 Minuten erstreckt sich bis Grand-Port und die sechste, 12 Uhr 56 Minuten bezeichnet, welche bei Le Crotoy schon das Hochwasser darstellt, ist nahe bis Lavier vorgedrungen. Die folgenden beiden Linien von 1 Uhr 24 Minuten und 1 Uhr 34 Minuten ergeben in Le Crotoy bereits ein merkliches Ebben, während die Fluthwelle noch weiter stromaufwärts vordringt, und in diesen Zeiten bei Noyelle und Grand-Port das Hochwasser dartellt. In Lavier und Abbeville wurde das Hochwasser nach den beiden folgenden Linien erst um 2 Uhr 7′ und 2 Uhr 28′ beobachtet, während bei Le Crotoy das Wasser bereits 6 Fufs oder nahe um den dritten Theil des ganzen Fluthwechsels gefallen war. Die letzte Linie, um 4 Uhr 20′ gemessen, zeigt, dafs in der ganzen Stromstrecke bereits Ebbe eingetreten, und das Gefälle überall nach der See gekehrt ist.

Dieses Profil läfst auch auf die Dauer der Fluth und Ebbe und die Gröfse des Fluthwechsels an den verschiedenen Punkten ungefähr schliefsen. Hierzu eignen sich aber ohne Zweifel viel besser vollständige Beobachtungsreihen, die den Vorübergang einer Fluthwelle an einzelnen Punkten zeigen, wie Fig. 21 eine solche für Hamburg darstellt.

An den Deutschen Strömen, namentlich an der Weser und Eider, sind mehrfach ausgedehnte Messungen über den Eintritt und die Höhe der Fluthen, wie auch der Ebben auf den verschiedenen Pegel-Stationen, in Verbindung mit den erforderlichen Nivellements ausgeführt, doch genügen dieselben bisher nicht, um daraus eine ähnliche übersichtliche Zusammenstellung, wie die vorstehende machen zu können. Nichts desto weniger werden die ausführlichen und sorgfältigen Untersuchungen, die der ver-

storbene Deichgräf Nienburg in Oldenburg für die Weser anstellte, nicht ohne Interesse sein*).

Die ganze Stromstrecke innerhalb des Grofsherzogthums Oldenburg von oberhalb der Mündung der Ochtum (die damals noch unmittelbar in den Hauptstrom der Weser sich ergofs) bis zur See, ist dem Fluthwechsel unterworfen, doch war dieser in der Nähe der obern Grenze schon sehr mäfsig, woher gemeinhin die Fluth nicht über diese Grenze hinaus bemerkt wurde.

Behufs der Feststellung der Deichhöhen wurden ein ganzes Jahr hindurch an verschiedenen Punkten die höchsten und kleinsten Wasserstände bei jedem Fluthwechsel beobachtet, und aus je 705 bis 707 zusammengehörigen Beobachtungen (nämlich aus allen Hoch- oder Niedrig-Wasserständen im ganzen Jahr) wurden die arithmetischen Mittel genommen. Hieraus ergab sich die Höhe des Fluthwechels an den verschiedenen Punkten in folgender Gröfse, und zwar in Rheinländischem Fufsmaafs ausgedrückt:

1.	Vor dem Fedderwarder Siel zwischen der Weser und Jade	11′	1″
2.	Vor der Mündung der Geeste . . .	10′	11″
3.	Vor Dedesdorf	10′	7″
4.	Vor Brake	9′	11″
5.	Vor dem Oldenbrooker Siel bei Käseburg	9′	8″
6.	Vor Elsfleth	8′	6″
7.	Reckum gegenüber	7′	10″
8.	Vor Warfleth	6′	4″
9.	Vor Lemwerder, Vegesack gegenüber .	4′	3″
10.	An der Mündung der Ochtum . . .	3′	6″

Die letzte Angabe ist weniger genau, weil sie vorzugsweise auf einzelnen besonders hohen Fluthen beruht. Es ergiebt sich aber aus dieser Tabelle, dafs in der mehr als 6 Meilen langen Strecke von der See bis gegen Elsfleth die Fluthhöhe nur $2\frac{1}{2}$ Fufs abnimmt. In der folgenden Strecke bis Lemwerder, die noch nicht 2 Meilen lang ist, vermindert sie sich dagegen um mehr, als 4 Fufs. Der Grund dieser starken Abnahme ist ohne Zweifel in der geringen Tiefe, so wie in den mehrfachen Spaltungen und

*) Dieselben wurden mir vom Verfasser zur Benutzung in diesem Handbuche mitgetheilt.

in der übermäfsigen Verwilderung dieses Theils des Stroms zu suchen.

An derselben Stelle, wo die starke Verminderung des Fluthwechsels beginnt, liegt auch die Grenze, bis zu welcher die Anschwellungen der Ober-Weser noch auf den Wasserstand Einflufs haben. In Brake giebt sich dieser Einflufs beinahe gar nicht zu erkennen, auch am Oldenbrooker Siel ist er noch sehr unbedeutend, weiter aufwärts bemerkt man aber, dafs bei Anschwellungen der Ober-Weser eben sowohl das Hochwasser, wie auch das niedrige Wasser beim Wechseln der Fluth und Ebbe eine gröfsere Höhe am Pegel erreicht, als sonst, und zwar steigt das Hochwasser weniger, als das niedrige. Wenn letzteres sich noch $1\frac{1}{2}$ Fufs über seiner gewöhnlichen Höhe erhält, so sinkt jenes schon auf den ordinären Stand zurück.

Das Hochwasser liegt nicht an allen Beobachtungspunkten in demselben Horizont, vielmehr erhebt es sich stromaufwärts zu einer gröfsern Höhe, oder wenn man die mittlern Stände des Hochwassers in das Längen-Profil einträgt, so stellen sie eine Linie dar, welche nach der Seeseite abfällt. Legt man durch das mittlere Hochwasser am Fedderwarder Siel eine Horizontal-Ebene, so befinden sich die mittlern Hochwasserstände der übrigen Punkte über demselben. Der Höhenunterschied gegen diesen Horizont beträgt:

bei Nordenhamm		4″
am Golzwarder Siel		8″
bei Brake		11″
bei Käseburg	1′	2″
am Piependammer Siel . . .	1′	5″
bei Warfleth	1′	8″
bei Lemwerder	1′	11″
an der Ochtum	2′	2″

Was den Einflufs des Windes auf den Wasserstand der untern Weser betrifft, so hat man bemerkt, dafs bei Sturmfluthen das Wasser sich mehrmals 10 bis 11 Fufs über das Hochwasser der Fluthen nach dem dermaligen Stande des Mondes und der Sonne erhoben hat. Im Februar 1825 überstieg es dieses sogar um 12 Fufs. Diese Höhe bezieht sich aber nur auf das mittlere

Niveau des angeschwollenen Wassers, die Kämme der Wellen erreichen gröfsere Höhen.

Ueber den Eintritt des Hochwassers an den verschiedenen Punkten zur Zeit der Voll- und Neumonde, also über die Hafenzeiten, sowie auch über die Dauer der Fluth und Ebbe, oder über das Steigen und Fallen des Wassers, wurden gleichfalls Beobachtungen angestellt, deren mittlere Resultate die nachstehende Tabelle nachweist.

Beobachtungs-Orte	Hafenzeit		Dauer der Fluth		Dauer der Ebbe	
	Stunden	Minuten	Stunden	Minuten	Stunden	Minuten
Vor dem Fedderwarder Siel in der Weser	12	10	6	12	6	12
am Flagbalger Siel	12	50	5	20	7	5
am Esenshammer Siel	1	20	5	10	7	15
am Strohhauser Siel	1	35	5	0	7	25
vor Brake	2	15	4	45	7	40
am Oldenbrooker Siel	2	35	4	40	7	45
am Elsflether Siel	2	50	4	5	8	20
vor Elsfleth	3	0	4	0	8	25
vor Lemwerder	3	50	3	40	8	45

Es ergiebt sich hieraus wieder, dafs die Fluthen weiter stromaufwärts nicht nur später eintreten, sondern ihre Dauer sich auch bedeutend verkürzt und dagegen die Zeiten, in welchen der Wasserstand sich senkt, immer länger werden.

Zum bessern Verständnifs dieser Tabellen füge ich noch die Nachweisung der Entfernungen für alle benannte Punkte bei, und zwar sind dieselben vom Fedderwarder Siele ab gemessen.

Mündung der Geeste	2,0	Meilen
Flagbalger Siel	2,8	-
Dedesdorf	3,5	-
Esenshammer Siel	3,6	-
Golzwarder Siel	4,8	-
Brake	5,3	-
Oldenbrooker Siel bei Käseburg .	5,9	-

Elsflether Siel	6,5	Meilen
Elsfleth	6,7	-
Piependammer Siel	7,0	-
Reckum	7,0	-
Warfleth	7,6	-
Lemwerder	8,3	-
Mündung der Ochtum	9,0	-

Am Flagbalger Siel wurden endlich noch die Geschwindigkeiten des Fluth- und des Ebbe-Stroms gemessen, und es ergab sich, dafs der erstere, wenn er seine gröfste Stärke erreichte, etwas bedeutender war, als der letztere. Dieser nahm nämlich im Maximum nur die Geschwindigkeit von 3 Fufs 2 Zoll an, während jener die Geschwindigkeit von 3 Fufs 7 Zoll erreichte. Die Zeiten des höchsten und niedrigsten Wassers fielen aber keineswegs mit dem Wechsel der Strömung zusammen. Beim Eintritt des kleinsten Wassers hatte der Ebbestrom vor diesem Siel noch die grofse Geschwindigkeit von 2 Fufs 7 Zoll, und er hörte erst auf, nachdem das Wasser schon 1 Fufs 6 Zoll wieder gestiegen war.

Indem der Fluthstrom, wie auch der Ebbestrom um so stärker wird, und daher um so kräftiger auf die Vertiefung des Fahrwassers wirkt, je gröfser die Ausdehnung der weiter aufwärts belegenen Flächen ist, die bei der Fluth mit Wasser sich anfüllen, welches bei der Ebbe wieder abfliefst, so darf man, wie bereits erwähnt, solche Niederungen nicht abschliefsen.

Andrerseits glaubt man zuweilen, dass hohe Anschwellungen vor den weiter abwärts belegenen Niederungen durch die aufwärts gerichtete Fluthströmung veranlafst werden, und man deshalb das Fortschreiten der Fluthwelle möglichst verhindern müsse. Hiernach wäre also die Schliefsung jener Niederungen statthaft, und aufserdem müfste man auch die Untiefen und Krümmungen im Strombett zu erhalten suchen. Diese Ansicht ist indessen insofern ganz unbegründet, als das Wasser bei der Fluth nur in dem Maafse zufliefst, wie es Gelegenheit findet, sich auszubreiten, die gröfsere Masse desselben veranlafst also an keiner Stelle des Stroms eine höhere Anschwellung, dagegen hat die stärkere Strömung die Vertiefung seines

Bettes zur Folge und durch diese wird der Abflufs des Wassers während der Ebbe befördert. Die obige Mittheilung der mittlern Fluthhöhen der Weser ergiebt auch, dafs die absolute Höhe des Hochwassers stromaufwärts immer mehr ansteigt. Das Hochwasser an irgend einem Punkt kann daher nicht sowol von der Fluthwelle herrühren, die in die Mündung des Stroms einläuft, als von dem Binnenwasser, welches der Strom abführt. Sollte erstere die Anschwellung veranlassen, so könnte die Höhe der Welle nicht zunehmen, sie müfste vielmehr, von einzelnen scharfen Verengungen des Bettes abgesehn, nach und nach abnehmen. Es leuchtet auch an sich ein, dafs eine hohe Untiefe oder eine sonstige Unregelmäfsigkeit im Strombett, welche das weitere Auflaufen der Fluthwelle verhindert, nicht sowol das Uebertreten des Hochwassers hemmt, das von der Seeseite anläuft, als vielmehr den Abflufs zur Zeit der Ebbe. Nach Beseitigung dieser Untiefe bildet sich also die stärkere Fluthwelle weiter aufwärts allein dadurch aus, dafs ihr unterer Scheitel tiefer herabsinkt. Berücksichtigt man hierbei noch, dafs während des Eisganges an jener Stelle leicht Stopfungen oder Versetzungen eintreten können, die den Abflufs noch mehr hindern und möglicher Weise auf längere Zeit vollständig sperren, so folgt, dafs man auch in den untern Stromstrecken, in welchen Fluth und Ebbe statt findet, eben so wie in den obern, für die Vorfluth nicht besser sorgen kann, als durch Geradlegung und Vertiefung des Strombettes, also durch Verstärkung des Stroms.

Beim Eintritt der Fluth wie der Ebbe pflegt in den untern Stromtheilen, sowie auch in Meeresbuchten, welche weite Mündungen haben, die Strömung nicht plötzlich ihre Richtung zu verändern und in die entgegengesetzte überzugehn. Namentlich in dem Fall, dafs die Buchten durch Insel-Reihen vom Meere getrennt sind, also vielfache Verbindungen mit dem letztern haben, wie etwa die Süder-See, treten nach und nach Aenderungen der Strömung ein, so dafs die Richtung derselben die halbe Windrose langsam durchläuft, bis endlich der Ebbestrom sich entschieden ausbildet. Etwas Aehnliches, wenn auch weniger auffallend, zeigt sich häufig noch in Stromstrecken, die schon von der Mündung weit entfernt liegen. Dabei bemerkt man auch, dafs die flachern und die tiefer gehenden Fahrzeuge nicht über-

einstimmend von der Strömung getroffen werden, dafs also letztere in verschiedner Tiefe verschieden sein mufs. Die vor Anker liegenden Schiffe lassen dieses deutlich erkennen, indem die Strömung, von der sie getroffen werden, sie bei ruhiger Witterung immer vom Anker forttreibt, und sie um letztern, wie um einen Festpunkt schwingen, welchem der vordere Bug stets zugekehrt bleibt, der also der Richtung des Stroms entgegen steht.

Mehrfach bemerkt man, dafs beim Beginn der Fluth das tief eintauchende grofse Schiff von der neuen Strömung früher gefafst wird und sich schon auf den Fluthstrom legt, während das daneben ankernde flache Fahrzeug noch die frühere entgegengesetzte Stellung behält. Man hat diese Erscheinung durch das verschiedene specifische Gewicht des Wassers beider Strömungen erklärt, und angenommen, dafs das schwerere Wasser, welches von der Seeseite herauftreibt, am Boden bleibt, während das süfse Binnenwasser oder der Ebbestrom in der Nähe der Oberfläche noch in entgegengesetzter Richtung darüber fortfliefst. Obwohl diese Erklärung in vielen Fällen zutreffen mag, so kann man ihr doch keine allgemeine Gültigkeit beilegen, da man am Ende der Fluth wie der Ebbe häufig bemerkt, dafs die kleinern Fahrzeuge früher aufdrehn, als die tiefern. Nach den von mir hierüber gemachten Erfahrungen verfolgen die Strömungen während des Umsetzens gemeinhin sehr verschiedene Wege. In der tiefen Stromrinne, wo die gröfsten Schiffe ankern, erhält sich beim Beginn der Fluth, wie bei dem der Ebbe, die frühere Strömung am längsten, während auf flachern Stellen und in der Nähe der Ufer das Wasser schon der entgegengesetzten Richtung folgt. In weiten Strom-Mündungen, wie vor Cuxhaven, hört die Strömung aber überhaupt nie auf, indem sie, wie in ausgedehnten Meeresbuchten nach und nach ihre Richtung verändert, und dabei alle Compas-Striche durchläuft. Die oben bereits erwähnte Erscheinung, dafs die Umkehrung des Stroms viel später eintritt, als der Wasserstand sein Maximum oder Minimum erreicht, also derselbe bereits sehr merklich schon wieder gestiegen oder gesunken ist, wiederholt sich in allen Fällen.

Kraijenhoff war der Ansicht, dafs fortdauernd unter der vom Meer aus eintretenden Fluthwelle das Stromwasser über der Sohle des Bettes abfliefst, dafs also die Fluth sich nur auf die obern

Wasserschichten beschränkt, und darunter ein ununterbrochener Ebbestrom statt findet. Diese Auffassung wird durch keine Thatsachen unterstützt und sie erscheint um so gewagter, als doch gewifs nicht anzunehmen ist, dafs das specifisch leichtere Binnenwasser unter dem Seewasser oder dem braken Wasser seinen Weg fortsetzen sollte. Nichts desto weniger behielt diese Ansicht bei einzelnen Hydrotecten noch Geltung, bis sie durch directe Beobachtungen in späterer Zeit widerlegt ist. Der Ingenieur E. Olivier maafs zwischen Dortrecht und Zwijndrecht, so wie bei s'Gravendeel, wo schon sehr bedeutende Fluthwechsel eintreten, die Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen bis zum Grunde und zwar eben sowol bei der Fluth, als bei der Ebbe, und es ergab sich, dafs sie jedesmal in allen Tiefen übereinstimmende Richtungen hatten, aber, wie auch sonst immer geschieht, in der Tiefe etwas geringer waren*).

Vor der Mündung der Rhone hat man bemerkt, dafs die bei ruhiger Witterung sehr auffällige Küstenströmung, die sich westwärts, also nach Cette hinzieht, nur in der Oberfläche statt findet und nicht tiefer herabreicht, als das süfse Wasser der Rhone, dafs das Seewasser darunter aber an dieser Strömung nicht Theil nimmt.

Es mufs ferner der Aufschlickung gedacht werden, die in den untern Stromtheilen, wo starke Fluth und Ebbe statt findet, oft sehr bedeutend ist. Dieses ergiebt sich theils aus der starken Trübung des Wassers, und theils auch aus den Ablagerungen von Schlick, die oft in kurzer Zeit eine überraschende Höhe erreichen. Sie zeigen sich vorzugsweise an solchen Stellen, die von der starken Strömung nicht getroffen werden, und sind um so gröfser, je höher das Hochwasser sie überfluthet. Hiermit übereinstimmend ermäfsigt sich auch ihr ferneres Anwachsen mit ihrer zunehmenden Erhebung, und wenn sie endlich solche Höhe erreicht haben, dafs das Hochwasser nur noch wenig darüber tritt, so hört die weitere Ablagerung beinahe ganz auf. Um ein Beispiel solcher starken Aufschlickung mitzutheilen, mag erwähnt

*) Over de Stroomsnelheid in den Waterafvoer der Rivieren. — Verhandelingen van het koninglijk Instituut van Ingenieurs. 1858—1859. pag. 50.

werden, wie ich einst darauf aufmerksam gemacht wurde, dafs eine Helling an der Geeste neben Bremerhaven, auf welche vor zwei Monaten ein Schiff aufgezogen worden, die also damals vollständig gereinigt sein mufste, in ihrem untern Theile wieder mit einer Schlickmasse von 6 Fufs Höhe überdeckt war.

Auf allen Strömen giebt es gewisse Stellen, wo diese Ablagerungen besonders stark sind. Für die Weser dürfte die Mündung der Geeste eine solche sein, für die Elbe ist es die Strecke zwischen Stade und Glückstadt. Das Wasser ist hier auffallend stärker getrübt, als sonst, und zugleich ist der Schlickfall hier bedeutender, als weiter aufwärts und abwärts. Hübbe hat diesen Gegenstand eingehend untersucht*). Die im Wasser schwebenden feinen erdigen Theilchen bewegen sich, so lange sie dem Fluthstrom noch nicht begegnen, dauernd stromabwärts. Sobald ihnen aber die Fluth entgegentritt, so werden sie anfangs nur wenig, und weiterhin immer stärker zurückgetrieben, bis sie endlich an eine Stelle gelangen, wo sie bei der gröfsern Oeffnung des Profils in jeder vollen Fluth-Periode nur wenig vorrücken, und wo gleichzeitig in Folge früherer Ablagerungen oder wegen der Bodenbeschaffenheit auch der Fluthstrom in gleicher Weise, wie der Ebbestrom mit erdigen Theilchen gefüllt ist. Wenn in der Nähe der Mündung das Verhältnifs des Profils zu der vom Binnenlande kommenden Wassermasse sich auch noch gröfser herausstellt, also die durchschnittliche, stromabwärts gerichtete, Geschwindigkeit derselben noch geringer wird, so tritt hier dennoch der wesentliche Unterschied ein, dafs der Fluthstrom reineres Wasser herbeiführt, und das trübe Wasser, das bei der Ebbe abfliefst, nicht mehr in der nächsten Fluth zurückkehrt. Dieses geschieht aber nur, wenn die gröfsere Meerestiefe in so geringer Entfernung vor der Strom-Mündung liegt, dafs das austretende trübe Wasser in derselben Ebbe bis über diese Grenze hinaus geführt wird. Die schwebenden Theilchen können alsdann versinken und der beim Wellenschlage eintretende Rückstrom (§ 6) treibt den Schlick noch weiter in die See, so dafs er dem Angriff des Fluthstroms weniger ausgesetzt ist. Wenn dagegen weit aus-

*) Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks. Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang X. Seite 491 ff.

gedehnte Wattgründe seewärts noch davor liegen, wie etwa vor der Mündung der Jade, so wird die Erscheinung ganz anders, und das Wasser des Fluthstroms ist sogar stärker mit erdigen Theilchen geschwängert, als das des Ebbestroms. Es wird hierauf später zurückgekommen und der Beweis dafür durch directe Messungen gegeben werden.

Schliefslich sind noch die eigenthümlichen Erscheinungen zu erwähnen, die in manchen Strömen beim Eintritt der Fluth sich in der auffallendsten Weise bemerkbar machen. Die Fluthwelle ist ohnerachtet der grofsen Höhe, die sie stellenweise erreicht, dennoch im offenen Meer auf beiden Abhängen so sanft geneigt, dafs man den Uebergang aus der Horizontalen nicht unmittelbar wahrnehmen kann, dieser vielmehr nur aus der Vergleichung gleichzeitiger Wasserstände in benachbarten Orten sich erkennen lässt. Bei ganz ruhiger Witterung, wenn der Wasserspiegel vollkommen eben ist, tritt im Beginn der Fluth einige Wellenbewegung ein. Der Meeresspiegel nimmt also nicht in sanftem Uebergange eine andre Neigung an, vielmehr veranlafst die Fluthwelle, indem sie das Gleichgewicht stört, schon gewöhnliche Wellen, die ihre Annäherung bezeichnen. So sah ich einst an der Mündung der Tyne, bei South-Shields die ganz glatte Oberfläche der See plötzlich in wellenförmige Schwingungen versetzt. Es waren jedoch nicht die kurzen Wellen, welche der Wind verursacht, sondern es zeigten sich lang ausgezogene Erhebungen, wobei die Oberfläche ihre volle Glätte behielt, und nur in flach gekrümmte Formen überging. An den weit vortretenden niedrigen Felsbänken fing das Meer gleichzeitig zu branden an, und nach wenigen Minuten konnte man schon das Steigen des Wassers wahrnehmen.

Bei Strom-Mündungen, die nicht ausgedehnte Bänke vor sich haben, sondern unmittelbar in das offene und tiefe Meer treten, die also von der Fluthwelle in ihrer vollen Kraft und Geschwindigkeit getroffen werden, mufs die erwähnte Erscheinung offenbar viel auffallender sich zeigen, in sofern dabei der Ebbestrom des Flusses überwunden und zurückgedrängt wird. Dieses geschieht jedoch nicht plötzlich, sondern zwischen dem Ebbestrom und dem Fluthstrom bleibt ein Zwischenraum, in welchem das Wasser stille steht, und von beiden Seiten geprefst wird. In

Folge des Drucks schwillt es an. Diese Erhebung oder Welle kann sich aber nicht an demselben Orte erhalten, sondern wie die Fluth weiter stromaufwärts dringt, so läuft sie vor derselben, und bewegt sich oft mit grofser Geschwindigkeit. Man nennt diese Erscheinung in der Gironde, wo sie besonders auffallend war, aber gegenwärtig sich nur in geringerm Maafse noch zeigen soll, das Mascaret. Die erste Fluthwelle lief hier zur Zeit der Springfluthen mit solcher Geschwindigkeit ein, dafs kein Pferd ihr folgen konnte, und sie nahm stellenweise, besonders da, wo die gegenüber stehenden Ufer sich einander näherten, eine bedeutende Höhe an, die nach den Beschreibungen die Gröfse eines Hauses erreichte. Sie überfluthete Alles, was ihr im Wege lag, und war daher für kleine offene Fahrzeuge besonders gefährlich.

Auch in der Charente und der Seine tritt dieselbe Erscheinung ein, woselbst man sie die Barre nennt, und wenn sie hier auch minder stark ist, so bleibt sie dennoch für Fischerböte sehr gefährlich. Letztere werden, vor dem Eintritt der Fluthwelle, sehr vorsichtig in die Richtung des Stroms gebracht, um nicht von der Seite getroffen zu werden. In der Seine läuft diese Welle bis gegen Rouen herauf, doch zeigt sie sich keineswegs bei allen höhern Fluthen, vielmehr bildet sie sich nur unter besondern Witterungs-Verhältnissen vollständig aus. Auch an andern Küsten läuft die Fluth in gleicher Weise in die ihr entgegengekehrten Ströme ein. So erreicht im Severn diese Welle die Höhe von 10 Fufs, und noch viel bedeutender soll sie im Ganges und im Amazonen-Strom sein.

Wesentlich verschieden ist die Erscheinung in der Mündung des Adour, wo die Fluth gezwungen ist, durch ein sehr verengtes Profil in ein dahinter liegendes ausgedehntes Becken einzudringen. Wegen der beschränkten Weite der Oeffnung findet während der ganzen Dauer des Hochwassers ein starker Wassersturz hier statt, und im innern Becken ist zur Zeit der Springfluthen der Wasserstand noch 4 Fufs niedriger als in der See, woher die Schiffe erst ausgehn können, wenn die Ebbe schon längere Zeit angehalten, und diese Niveau-Differenz sich ausgeglichen hat.

§ 10.

Wasserstände der Ostsee.

In denjenigen Meeren, welche dem Einflufs der Fluth und Ebbe gar nicht, oder nur in geringem Maafse ausgesetzt sind, fehlen jene grofsen und in kurzen Perioden wiederkehrenden Anschwellungen und Senkungen des Wassers, doch ist der Stand desselben auch hier keineswegs unveränderlich, vielmehr treten noch Schwankungen von solcher Ausdehnung ein, dafs man dieselben weder bei Hafen-Anlagen, noch auch beim Uferschutz unbeachtet lassen darf. Die Ursache dieser Schwankungen ist grofsentheils, und gemeinhin ausschliefslich der Wind. Wenn die Wirkung desselben auf den Wasserstand des Atlantischen Meers wegen des überwiegenden Einflusses der Fluthen sich der Beobachtung mehr entzieht, so bietet die Ostsee dagegen Gelegenheit, den Effect des Windes erkennen zu lassen. Weit vollständiger würde dieses der Fall sein, wenn rings um dieses Binnenmeer regelmäfsige Beobachtungen gemacht würden und mit einander verglichen werden könnten. Der folgenden Untersuchung dürfen wegen ungenügender Sicherheit in Betreff der unveränderten Aufstellung der Pegel an der östlichen Küste der Herzogthümer nur die in den ältern Preufsischen Häfen und Lootsenstationen angestellten täglichen Messungen zum Grunde gelegt werden. Zur Beurtheilung des Einflusses, den der Wind auf den Wasserstand ausübt, sind dabei noch einige Stationen berücksichtigt, welche nicht an der offnen See, sondern weiter landeinwärts an Gewässern liegen, die mit der See in Verbindung stehn.

Der Wasserstand wird, in gleicher Weise wie bei Strömen (II. Theil dieses Handbuches § 14), an gewissen aufrechtstehenden Maafsstäben, oder sogenannten Pegeln gemessen, die in diesem Fall, wo die Aenderungen nur langsam erfolgen, der Vorrichtung zum Selbstregistriren nicht bedürfen. Um so nöthiger ist es aber, dafs die Maafsstäbe dauernd in ihrer Stellung und in gleicher Höhe erhalten werden. Aufserdem dürfen sie einem starken Wellenschlage nicht ausgesetzt sein, weil es sonst unmöglich ist, den Wasserstand daran annähernd richtig zu messen. Dafs sie

bis zum niedrigsten Wasser herabreichen müssen, und durch keine darüber vortretende Verflachungen von der See getrennt sein dürfen, bedarf kaum der Erwähnung. Um aber aus diesen Messungen den mittlern Wasserstand herleiten zu können, ist es auch nothwendig, dafs die Ablesung in einer bestimmten Stunde erfolgt, während höhere Anschwellungen, die nur kurze Zeit anhalten, in eine besondere Spalte der Tabelle eingetragen werden. Zugleich ist bei uns vorgeschrieben, dafs auch die Richtung des Windes, und soweit sich dieses ohne besondere Messungen thun läfst, auch die Stärke desselben in allgemeiner Bezeichnung angegeben werden soll.

Die Rücksicht auf die dauernde Erhaltung der Höhe des Nullpunktes macht es schon wünschenswerth, den Pegel nicht an Bohlwerke und noch weniger an einzelne Pfähle zu befestigen, sie vielmehr an sicher fundirten Ufermauern anzubringen. Doch auch wenn dieses geschehn ist, mufs man die unvermeidlichen Reparaturen und Erneuerungen vorsehn, und es ist deshalb nothwendig, dafs der Nullpunkt jedes Pegels noch durch sorgfältige Nivellements an andre Festpunkte in der Nähe angeschlossen und periodisch mit diesen verglichen wird, damit zufällige Veränderungen leicht bemerkt und berichtigt werden können. Nach der bei uns geltenden Instruction vom 23. August 1845 mufs ein solcher Vergleich in jedem Jahr wenigstens einmal ausgeführt werden.

Wenn diese Vorsicht angewendet wird, so gewinnt man die Ueberzeugung, dafs der Pegel seine Höhe unverändert gegen das benachbarte Ufer behält, ob dieses selbst aber nicht etwa in Folge tellurischer Wirkungen sich hebt oder senkt, und dadurch auch die Höhe des Pegels verändert, bleibt dennoch ungewifs. Sollten Bewegungen dieser Art in gröfserer Ausdehnung eintreten, so würde man unter Voraussetzung der Unveränderlichkeit des mittlern Wasserstandes aus den Pegel-Beobachtungen umgekehrt auf die erfolgte Hebung oder Senkung des Ufers schliefsen können.

Erscheinungen dieser Art kommen vielfach vor, und ein grofsartiges Beispiel hiervon zeigt sich auch an der Ostsee. An vielen Stellen der Schwedischen Küste erkennt man nämlich deutlich, dafs in frühern Zeiten und zwar keineswegs in weit

entfernten, das Meer viel höher gegen das Ufer stand, als gegenwärtig. Eiserne Ringe, zum Befestigen kleiner Fahrzeuge bestimmt, sind jetzt von den Böten aus nicht mehr zu erreichen, frühere Landeplätze sind wegen der Hebung der Küste unbrauchbar geworden, u. d. gl. Schon Celsius bemerkte diese Veränderungen, und schloſs daraus, daſs die Ostsee eben so wie die Nordsee in jedem Jahrhundert sich um 40 Zoll senkt. Die Schluſsfolge war unbedingt in sofern unrichtig, als die vorausgesetzte Senkung sich auch an andern Ufern dieser Meere zu erkennen geben müſste, und unmöglich an den Häfen und noch weniger an den Deichen vor den Marschen an der Nordsee unbemerkt bleiben könnte. Leopold von Buch erklärte daher viel passender die Erscheinung durch die stellenweise Erhebung des Landes. Die Richtigkeit dieser Auffassung hat sich seitdem vollständig bestätigt und zwar in der Art, daſs die Schwedische Küste sich an verschiedenen Stellen ganz ungleichmäſsig hebt. Im Maximum beträgt die Hebung jährlich etwas über einen halben Zoll. Dabei bleibt es aber zweifelhaft, ob die Bewegung in gleichem Sinn sich dauernd fortsetzt, oder ob vielleicht einst wieder Senkungen eintreten werden. In der Nähe von Stockholm fand man beim Ausgraben eines Canals unter einer Bank von Seemuscheln ein kleines Gebäude mit aufgemauertem Heerde, auf dem noch Holzkohlen lagen. Seitdem dort Menschen wohnen, hatte sich also der Boden zuerst unter das Meer gesenkt, und alsdann wieder darüber erhoben. In der Zeit, wo die groſsen Umformungen der Erdoberfläche erfolgten, sind ähnliche ganz verschiedenartige Bewegungen vielfach vorgekommen, wie dieses die Ablagerungen und Formationen zeigen, aber auffallend ist es gewiſs, daſs an der Ostsee solche Aenderungen sich noch gegenwärtig bemerkbar machen.

Es konnte nicht fehlen, daſs diesen Thatsachen gegenüber die Frage entstand, ob unsere Ufer der Ostsee gleichfalls Bewegungen erkennen lassen, oder ob diese unverändert gegen den mittlern Wasserstand ihre Höhe behalten. An der Russischen Küste und zwar bei Petersburg und Cronstadt überzeugte man sich, daſs seit zwei Jahrhunderten keine auffallende Aenderung eingetreten sei. Dasselbe kann auch mit gleicher Bestimmtheit von mehreren Stellen der Preuſsischen Küste gesagt werden, und

zwar in Bezug auf viel entferntere Zeiten. Namentlich Danzig und Königsberg mit ihren niedrigen Umgebungen haben ein halbes Jahrtausend hindurch ihre Höhenlage gegen den Spiegel der See nicht wahrnehmbar verändert.

Bestimmte Angaben hierüber lassen sich indessen nur machen, wenn sichere Wasserstands-Beobachtungen vorliegen. Solche sind in unsern Seehäfen seit 1811 angestellt worden, und auf Veranlassung von Alexander von Humboldt versuchte ich im Jahre 1844*) zu ermitteln, ob aus denselben eine Senkung oder Hebung irgend einer Stelle sich nachweisen läfst. Zu diesem Zweck wurden für jeden Beobachtungsort, so weit die Ablesungen mit einiger Sorgfalt gemacht waren, zunächst die jährlichen mittlern Wasserstände berechnet und aus diesen unter der Voraussetzung, dafs die jährliche Aenderung constant sei, nach der Methode der kleinsten Quadrate der wahrscheinlichste Werth der jährlichen Aenderung und der wahrscheinliche Fehler dieses Werthes bestimmt. Es ergab sich, dafs die gefundene jährliche Aenderung meist kleiner und nur selten wenig gröfser war, als ihr wahrscheinlicher Fehler, dafs also das Vorhandensein einer solchen sich nicht sicher herausstellte. Eine Ausnahme hiervon zeigte sich nur bei Memel, woselbst diese Untersuchung zu der sehr bedeutenden Hebung des Pegels oder des Landes von $3^1/_2$ Fufs in 100 Jahren führte. Dieses Resultat war an sich höchst unwahrscheinlich und mit der niedrigen Lage des Hafens und der Stadt ganz unvereinbar. Bei näherer Untersuchung ergab sich auch, dafs der Festpunkt, mit dem der Pegel ursprünglich durch ein Nivellement verbunden gewesen, seit langer Zeit nicht mehr existirte, und daher der Pegel, der an einem Pfahle befestigt und wahrscheinlich oft durch das Eis gehoben war, seine frühere Stellung verändert hatte, ohne dafs dieses bemerkt werden konnte. Seitdem im Jahre 1845 die erwähnte neue Instruction, die eben hierdurch veranlafst wurde, ertheilt ist, sind solche Irrthümer nicht mehr zu besorgen.

Da in neuerer Zeit die nähere Untersuchung der Bodenverhältnisse in der Umgebung des Kurischen Haffes gezeigt hat,

*) Vergleichung der Wasserstände an der Preufsischen Ostseeküste. Poggendorf's Annalen, Band 64, Seite 543 ff.

dafs daselbst abwechselnd sehr bedeutende Erhebungen und Senkungen statt gefunden haben*), und sonach die Frage, ob nunmehr ein Stillstand eingetreten sei, besonders wichtig ist, so habe ich die während der letzten dreifsig Jahre in Memel angestellten Beobachtungen in dieser Beziehung mit einander wieder verglichen. Die mittlern Wasserstände der einzelnen Jahre weichen von einander sehr wesentlich ab. So stellt sich beispielsweise derjenige von 1867 auf 1′ 9,1″ und derjenige von 1875 auf 1′ 0,0″. Der mittlere Werth von allen ist 1′ 5,7″ und mit diesem verglichen beträgt die Summe der Quadrate der Abweichungen von demselben 180,97. Setzt man nun voraus, dafs eine noch unbekannte, aber constante jährliche Aenderung des Wasserstandes statt findet, so ergiebt sich der wahrscheinlichste Werth derselben gleich — 0,054 Zoll. Wenn man aber unter Zugrundelegung dieser Aenderung die jährlichen mittlern Wasserstände berechnet und dieselben mit den aus den Beobachtungen hergeleiteten vergleicht, so vermindert sich die Summe der Fehlerquadrate nur auf 174,98 und bleibt also sehr nahe eben so grofs, wie früher. Der wahrscheinliche Fehler der berechneten jährlichen Aenderung ist aber 0,035 Zoll, also nur um den dritten Theil kleiner, als sie selbst ist. Diese allein sichern Beobachtungen würden daher nur zu einer Wette von 12 gegen 11 für die Behauptung berechtigen, dafs der Wasserstand der Ostsee sich hier etwas senkt.

Die Nullpunkte der Pegel liegen, wie sich aus der Zusammenstellung der mittlern Wasserstände der verschiedenen Stationen ergiebt, in sehr verschiedenen Höhen. In mehreren Häfen scheint man die Wahl in der Art getroffen zu haben, dafs der Pegel unmittelbar die Tiefe des Fahrwassers angeben soll, in andern aber hat man den Nullpunkt ungefähr in die Höhe des niedrigsten Wasserstandes gelegt. In beiden Fällen ist der beabsichtigte Zweck nicht erreicht, doch wird durch diesen Mifsgriff der Verkehr eben so wenig belästigt, wie durch die Verschiedenheit der Pegel. Der Lootse kennt die Beziehung zwischen dem Pegel und der jedesmaligen Tiefe des Fahrwassers, der

*) Geologie des Kurischen Haffes und seiner Umgebung von Dr. G. Berendt. Königsberg 1869.

fremde Schiffer, der den Pegel nur sehn kann, wenn er bereits in den Hafen eingelaufen ist, beachtet denselben gemeinhin gar nicht. Die Verschiedenheit ist nur den Gehülfen der Geodäten etwas unbequem, wenn sie bei ausgedehnten Nivellements sich an den mittlern Wasserstand der See anschliefsen sollen, und sie pflegen alsdann mit Verbesserungs-Vorschlägen aufzutreten, wobei die wesentlichsten Rücksichten ganz unbeachtet bleiben.

Bei dieser Gelegenheit werden auch Zweifel aufgeworfen, ob die mittlern Wasserstände der verschiedenen Stationen wirklich in gleicher Höhe liegen. Sieht man die dazwischen ausgeführten Nivellements als absolut richtig an, so ergeben sich für die Ostsee wunderbare Gefälle, welche Strömungen veranlassen müfsten, die dem Schiffer unmöglich entgehn könnten, und seine Fahrt oft sehr stören würden, die auch aufserdem eine ganz entgegengesetzte Strömung vor unsrer Küste hervorbringen würden, als bei ruhiger Witterung wirklich allgemein eintritt. Aus dem Nachstehenden wird sich ergeben, dafs die Bestimmung des mittlern Wasserstandes der verschiedenen Stationen noch mit wahrscheinlichen Fehlern von 1 bis 2 Zoll behaftet bleiben, und man mufs mit Recht bezweifeln, dafs Nivellements, wenn sie auch mit möglichster Sorgfalt ausgeführt wären, bei der Ausdehnung unsrer Küste von Memel bis Stralsund, die in möglichst geraden Verbindungslinien nahe 200 Meilen mifst, eine ähnliche Genauigkeit haben sollten.

Um die auf den verschiedenen Stationen gemachten Beobachtungen, so wie die Schwankungen derselben sicher vergleichen zu können, kommt es zunächst darauf an, den mittlern Wasserstand jeder Station kennen zu lernen. Da aber in früherer Zeit weder auf die unveränderte Stellung der Pegel die nöthige Aufmerksamkeit verwendet wurde, noch auch die tägliche Ablesung in einer bestimmten Stunde geschah, so mufste die Untersuchung sich allein auf die Beobachtungen nach Erlafs der neuen Instruction, also nach dem Jahr 1845 beschränken. Auf den meisten Stationen ist dieselbe vom 1. Januar 1846 ab berücksichtigt, auf einigen aber erst im folgenden Jahr. Hiernach sind den Rechnungen theils 29 und theils 30 Jahrgänge, nämlich bis zum Schlufs von 1875, zum Grunde gelegt.

Die Stationen, auf welche diese Untersuchung sich bezieht,

liegen zum Theil an der offenen See. Dieses sind: Wittower Posthaus, Swinemünde, Colbergermünde, Rügenwaldermünde, Stolpmünde, Neufahrwasser, Pillau und Memel. Die erste Station (auf der Insel Rügen) ist bereits § 8 näher bezeichnet. Die eben daselbst erwähnte Station Barhöft kann indessen hier nicht berücksichtigt werden, weil die Beobachtungen seit mehreren Jahren die niedrigsten Wasserstände nicht angeben. Der Pegel ist zum Theil versandet und statt die Verbindung mit dem Wasser wieder darzustellen, begnügt sich der Steuer-Beamte, dem die Beobachtung übertragen ist, mit der Bemerkung, dafs der Pegel trocken sei. Auf der Station Glowe wurden dagegen die Wasserstände nur während der kurzen Zeit abgelesen, als es Absicht war, auf Rügen einen Kriegshafen anzulegen. Auch mufs erwähnt werden, dafs für Wittower Posthaus die beiden Jahrgänge 1846 und 1870 ausfallen, da für das erste Jahr hier, wie auch in Stralsund, die neue Instruction noch nicht eingeführt war, und 1870 die Lootsenstation während einiger Monate wegen des Krieges aufgehoben wurde.

Demnächst umfassen die nachstehenden Tabellen noch drei Stationen an Binnengewässern, die mit der See verbunden sind, nämlich Stralsund, Königsberg und Elbing (am Lootsenhause). Diese sind mit aufgenommen, um den Einflufs des Windes auf den Wasserstand nachzuweisen.

In den drei ersten Spalten giebt die nächste Tabelle die mittlern Wasserstände der einzelnen Decennien, in der vierten dagegen die aus allen dreifsig Jahren hergeleiteten an, und die fünfte Spalte enthält die wahrscheinlichen Fehler der letzten Angaben in Zollen.

	1846–55	1856–65	1866–75	1846–75	wahrsch. Fehler
Wittower Posthaus	3′ 8,93″	3′ 9,48″	3′ 10,20″	3′ 9,54″	0,99″
Swinemünde . .	3 6,44	3 3,70	3 2,91	3 4,35	1,79
Colbergermünde .	4 10,66	4 9,17	4 10,79	4 10,21	1,25
Rügenwaldermünde	3 5,90	3 5,11	3 6,59	3 5,87	1,33
Stolpmünde . . .	2 4,04	2 2,42	2 3,83	2 3,43	1,54
Neufahrwasser .	11 2,80	11 2,02	11 2,52	11 2,45	1,36
Pillau	7 7,93	7 7,90	7 8,57	7 8,13	1,64

	1846—55	1856—65	1866—75	1846—75	wahrsch. Fehler
Memel	1′ 6,27″	1′ 5,18″	1′ 5,58″	1′ 5,68″	1,68″
Stralsund . . .	3 9,38	3 8,12	3 8,66	3 8,70	0,85
Königsberg . . .	7 8,56	7 8,35	7 9,58	7 8,83	1,83
Elbing	7 8,38	7 6,55	7 8,55	7 7,82	1,55

Man ersieht hieraus, dafs längere Beobachtungsreihen erforderlich sind, um die mittlern Wasserstände mit einiger Sicherheit zu berechnen. Man bemerkt, dafs überall die Wasserstände in den 10 Jahren von 1856 bis 1865 besonders niedrig gewesen, und jedenfalls unter einem oder dem andern der anschliefsenden Decennien geblieben sind. Von diesen beiden ist bald das erste und bald das letzte das gröfsere. Die Verschiedenheit, die man hierin bemerkt, mufs man wohl zufälligen Umständen beimessen, ohne voraussetzen zu dürfen, dafs einzelne Uferstrecken sich gehoben, und andre dazwischen liegende sich gesenkt haben. Am nächsten läge noch die Vermuthung, dafs Swinemünde im Steigen begriffen sei, weil hier die mittlern Wasserstände von zehn zu zehn Jahren etwas geringer werden, und mit etwas gröfserer Wahrscheinlichkeit, als für Memel, ein continuirliches Sinken des Wassers oder Heben der Küste vermuthet werden könnte. Dieses ist jedoch bei der grofsen Verschiedenheit der einzelnen Jahresmittel durchaus nicht sicher. Sollte es aber wirklich statt finden, so liefse sich die Aenderung noch dadurch erklären, dafs bei der zunehmenden Gröfse der Schiffe und namentlich der Dampfer, das Bette der Swine immer mehr geregelt und vertieft werden mufste, woher bei hohen Anschwellungen der See das durch die enge Mündung einströmende Wasser einen leichtern Abflufs nach dem Haff findet und vor dem 700 Ruthen aufwärts angebrachten Pegel nicht den hohen Stand, wie früher, annehmen kann. Auf die Ausströmung hat diese Vertiefung aber weniger Einflufs, da die Hebung des Wasserstandes im Haff viel geringer ist, und in längerer Zeit sich ausgleicht. Hiernach ist zu erwarten, dafs nach Eröffnung des Caseburger Durchstichs, der eine bedeutend kürzere Verbindung mit dem Haff darstellt, der mittlere Wasserstand sich noch mehr senken wird.

Schon aus der vorstehenden Tabelle läfst sich entnehmen,

dafs höhere und niedrigere Jahres-Wasserstände nicht immer local sind, sondern sich auf gröfsere Uferlängen erstrecken. Noch deutlicher zeigt sich dieses, wenn man die einzelnen Jahresmittel betrachtet. So zeichnen sich die Jahre 1854 und 1874 durch besonders hohes und dagegen 1857 und 1875 durch besonders niedriges Wasser aus. Die Differenzen der Jahresmittel gegen die aus den 30 Jahren hergeleiteten mittlern Wasserstände betragen nämlich in Zollen, für

	1854	1874	1857	1875
Wittower Posthaus . .	+ 0,6	+ 2,9	— 2,7	— 1,3
Swinemünde	+ 5,1	+ 1,6	— 0,3	— 3,3
Colbergermünde . . .	+ 2,7	+ 4,1	— 3,3	— 2,1
Rügenwaldermünde . .	+ 2,7	+ 3,2	— 3,2	— 3,4
Stolpmünde	+ 3,3	+ 2,7	— 3,3	— 4,1
Neufahrwasser . . .	+ 3,9	+ 3,3	— 2,4	— 3,9
Pillau	+ 3,3	+ 3,5	— 2,5	— 4,1
Memel	+ 3,5	+ 3,1	— 3,3	— 5,7
Stralsund	+ 2,2	+ 1,5	— 0,8	— 2,3
Königsberg	+ 4,2	+ 3,5	— 3,4	— 5,1
Elbing	+ 2,9	+ 3,4	— 3,1	— 2,9

Da in den ersten dieser Stationen, nämlich in den Pommerschen, die stärksten Anschwellungen durch Nord-Ost-Stürme veranlafst werden, in den Ost-Preufsischen dagegen durch westliche, so darf man nicht annehmen, dafs diese Verschiedenheit der Jahresmittel durch das Vorwalten gewisser Winde veranlafst sei, und die Verschiedenheit läfst sich nur dadurch erklären, dafs in manchen Jahren die Ostsee einige Zolle höher gefüllt ist, als in andern.

Auch im Verlauf jedes Jahres wiederholt sich, und zwar mit grofser Regelmäfsigkeit, dieselbe Erscheinung. Indem ich aus den mittlern Wasserständen jedes Monats einer jeden Station während der dreifsig Jahre das Mittel nehme und dieses auf den in der ersten Tabelle angegebenen mittlern Wasserstand derselben Station reducire, so ergeben sich die folgenden mittlern Wasserstände (wieder in Zollen ausgedrückt) für jeden Monat:

	Januar	Febr.	März	April	Mai	Juni
Wittower Posthaus . . .	— 0,38	— 1,65	— 2,74	— 2,26	— 2,33	— 0,06
Swinemünde	— 1,35	— 0,46	— 0,67	— 1,64	— 2,30	— 0,55
Colbergermünde	— 1,31	— 0,17	— 1,93	— 3,10	— 2,43	— 0,41
Rügenwaldermünde . . .	— 0,65	+ 0,62	— 1,92	— 3,59	— 3,39	— 0,95
Stolpmünde	+ 0,17	+ 0,74	— 1,84	— 3,57	— 3,98	— 1,28
Neufahrwasser	— 1,04	— 0,18	— 2,28	— 3,90	— 2,89	— 0,65
Pillau	— 0,93	— 0,47	— 1,83	— 3,09	— 2,87	— 0,59
Memel	— 0,94	0,00	— 2,54	— 0,96	— 2,21	— 1,72
durchschnittlich	— 0,80	— 0,20	— 1,97	— 2,76	— 2,80	— 0,78
Stralsund	— 1,28	— 1,39	— 1,62	— 2,44	— 1,59	— 0,17
Königsberg	— 1,86	— 0,94	— 0,87	— 1,54	— 3,41	— 0,60
Elbing	— 1,21	+ 0,02	+ 1,02	+ 0,21	— 1,66	— 0,34

	Juli	August	Sept.	Octbr.	Novbr.	Decbr.
Wittower Posthaus . . .	+ 1,70	+ 2,31	+ 2,42	+ 1,11	+ 1,86	0,00
Swinemünde	+ 2,43	+ 2,52	+ 2,03	0,00	+ 0,72	— 0,77
Colbergermünde	+ 2,43	+ 2,38	+ 2,60	+ 0,24	+ 1,40	+ 0,32
Rügenwaldermünde . . .	+ 2,15	+ 2,35	+ 2,58	+ 0,38	+ 1,71	+ 0,68
Stolpmünde	+ 1,69	+ 2,19	+ 2,67	— 0,08	+ 1,46	+ 1,87
Neufahrwasser	+ 3,13	+ 2,90	+ 2,96	+ 0,34	+ 1,16	+ 0,43
Pillau	+ 3,03	+ 2,85	+ 2,82	+ 0,15	+ 0,84	+ 0,11
Memel	+ 1,86	+ 1,95	+ 2,29	+ 0,24	+ 1,48	+ 0,58
durchschnittlich	+ 2,30	+ 2,43	+ 2,55	+ 0,30	+ 1,33	+ 0,40
Stralsund	+ 1,75	+ 2,10	+ 1,97	+ 0,86	+ 1,29	+ 0,47
Königsberg	+ 2,92	+ 2,87	+ 2,68	— 0,42	+ 1,08	+ 0,10
Elbing	+ 2,76	+ 1,83	+ 0,82	— 1,81	— 0,78	— 0,83

Die Ergebnisse der auf den letzten drei Stationen angestellten Beobachtungen habe ich zwar vorstehend auch mitgetheilt, jedoch bei Berechnung der durchschnittlichen Monats-Wasserstände nicht benutzt, weil dabei mehr oder weniger die Entwässerung des Binnenlandes von Einfluſs sein konnte, was bei Elbing in den hohen Frühjahrs-Wasserständen sich schon deutlich zu erkennen giebt.

Für alle an der offenen See belegenen Stationen zeigt sich während der Monate März, April und Mai ein tieferer und während Juli, August und September ein höherer Wasserstand. Durch vorherrschende Winde sind dieselben bei der verschiedenen Lage der Häfen nicht zu erklären, wenn gleich die Zunahme des

Wasserstandes im November von den alsdann eintretenden Stürmen herzurühren scheint.

Auch am Mittelländischen Meere hat Aimé dieselbe Erscheinung bemerkt*). Die dort beobachteten mittlern Wasserstände der einzelnen Monate des Jahres 1843 unterscheiden sich nämlich von dem mittlern Wasserstande des ganzen Jahrs um die nachstehenden Werthe.

	Centim.	Zolle
Januar	— 2,6	— 1,0
Februar	+ 5,4	+ 2,1
März	— 6,6	— 2,5
April	— 6,6	— 2,5
Mai	— 7,6	— 2,9
Juni	— 4,6	— 1,8
Juli	— 6,6	— 2,5
August	+ 2,4	+ 0,9
September . . .	+ 2,4	+ 0,9
October	+ 8,4	+ 3,2
November . . .	+ 13,4	+ 5,1
December . . .	+ 2,4	+ 0,9

Diese Resultate, die sich nur auf das Jahr 1843 beziehn, sollen mit denen der drei vorhergehenden Jahre nahe übereinstimmen. Sie sind aber nicht unmittelbar aus den Beobachtungen gezogen, vielmehr hat Aimé letztere zunächst nach den Barometerständen reducirt, indem er voraussetzte, dafs der Luftdruck, je nachdem er stärker oder schwächer, als der mittlere ist, den Wasserstand senkt oder hebt. Dabei wird auch die Ansicht ausgesprochen, dafs die Aenderung des Wasserstandes nur von den mit der Jahreszeit wechselnden Richtungen der herrschenden Winde herrühren soll.

Für die an der Ostsee belegenen Pegelstationen ist diese Erklärung, wie bereits erwähnt, nicht zutreffend, dagegen rührt

*) Comtes rendus des séances de l'Academie des sciences. Paris, 5. Fevrier 1844.

die Erscheinung ohne Zweifel von der abwechselnden Temperatur des Wassers her.

Aus meinen Beobachtungen über die Ausdehnung des Seewassers, welches mehrere Meilen weit im Norden von Swinemünde geschöpft war, ergab sich, dafs dasselbe in gleicher Art, wie destillirtes Wasser zwischen 3 und 4 Centesimal-Graden die stärkste Verdichtung erfährt, und dafs, wenn diese gleich 1 gesetzt wird, das Gewicht einer Masse von gleichem Volum

bei	10	Graden	0,99967
-	15	-	0,999904
-	20	-	0,999814
-	25	-	0,999703
-	30	-	0,999580

beträgt.

Die Tiefe der Ostsee ist sehr verschieden. Dieselbe mifst nördlich von der Insel Gottland über 100 Faden, weiter südwärts bis gegen die Preussische Küste kommen noch Tiefen von 50 bis 70 Faden vor, während der westliche Arm immer mehr abflacht und durchschnittlich nur etwa 20 Faden tief ist. Nimmt man die mittlere Tiefe auch nur zu 50 Faden an, so würde die gröfste Differenz der durchschnittlichen Monats-Wasserstände von 5,31 Zoll nur 0,00175 der ganzen Tiefe sein, und bei den Temperaturen von 4° und 19° C. würden die beobachteten Wasserstände gleichen Seitendruck ausüben.

Der Ocean behält im Allgemeinen während des ganzen Jahrs dieselbe Temperatur bei. Bestände zwischen ihm und der Ostsee eine feste Wand, so würde diese ohnerachtet der Niveaudifferenzen in der Ostsee keinen Druck erleiden. Der auf einer Seite in der obern Hälfte rechts gekehrte Druck würde durch den links gerichteten der untern Hälfte aufgehoben. Denkt man diese Wand plötzlich beseitigt, so würde oben zwar Abflufs, unten dagegen Einströmung erfolgen und beide würden so lange anhalten, bis eine vollständige Ausgleichung der Temperatur und des Salzgehaltes eingetreten wäre. Bei der grofsen Wassermasse der Ostsee und ihrer beschränkten und flachen Verbindung mit der Nordsee geschieht diese Ausgleichung aber sehr langsam, und bevor sie noch eingetreten ist, ändert sich bereits die Temperatur, und die Strömungen treten in entgegengesetztem Sinne ein. In

dieser Weise nimmt die Ostsee bei höherer Temperatur auch einen höhern Wasserstand an, und wahrscheinlich gilt diese Erklärung auch für die im Mittelländischen Meer wahrgenommene Erscheinung.

Wichtig ist ferner die Vergleichung der ungewöhnlich hohen und niedrigen Wasserstände. Vorschriftsmäfsig sollen die höchsten, wie auch die niedrigsten Wasserstände, wenn sie nicht Mittags eintreten, mit Angabe der Stunde in einer besondern Spalte der Tabelle notirt werden. Diese Angaben sind in der folgenden Zusammenstellung benutzt, doch enthält dieselbe nicht unmittelbar die Ablesungen an den Pegeln, deren Nullpunkte in sehr verschiedenen Höhen liegen, sondern die Differenzen gegen die aus den dreifsigjährigen Beobachtungen berechneten mittlern Wasserstände.

Die erste Spalte bezeichnet die absolut höchsten und die dritte die absolut niedrigsten Wasserstände, die in diesen dreifsig Jahren notirt sind. Die zweite und vierte dagegen die durchschnittlichen, oder die arithmetischen Mittel aus den höchsten und niedrigsten jedes einzelnen Jahres.

	höchster Stand über Mittelwasser		tiefster Stand unter Mittelwasser	
Wittower Posthaus	7′ 2″	2′ 8,6″	3′ 10″	2′ 3,5″
Stralsund	7 10	3 6,0	5 2	3 0,5
Swinemünde	6 4	3 2,5	3 11	2 7,0
Colbergermünde	7 2	3 1,6	3 8	2 2,9
Rügenwaldermünde	4 3	2 6,0	2 11	1 11,6
Stolpmünde	5 3	2 11,0	3 0	1 11,3
Neufahrwasser	4 7	2 7,1	2 7	1 9,5
Pillau	2 10	1 9,4	2 8	1 7,7
Königsberg	4 11	2 11,0	3 4	2 0,0
Elbing	6 5	3 1,6	3 3	2 1,3
Memel	4 9	2 3,9	2 11	1 7,7

Die geringsten Schwankungen zeigen sich hiernach in Pillau, der Grund davon ist leicht zu erkennen, indem die westlichen Stürme die hier das Hochwasser veranlassen, dasselbe durch das

Tief in das weite Königsberger Haff treiben, und eben so auch die Ostwinde, welche die Senkung veranlassen, aus letzterem einen verstärkten Zufluſs bei Pillau bewirken. Bei Memel gestalten sich die Verhältnisse anders, da das Curische Haff sich nach Süden erstreckt, und von seiner Mündung ab mehrere Meilen weit nur geringe Breite hat. Hinter Swinemünde liegt gleichfalls ein groſses Haff, aber die Verbindung mit demselben durch die Swine ist bei deren groſser Länge und den vielen darin vorhandenen Krümmungen nicht genügend, um den plötzlich eintretenden Anschwellungen der See einen schnellen Abfluſs zu eröffnen. Auch die mäſsige Schwankung in Rügenwaldermünde, die auffallend geringer ist, als in den zu beiden Seiten liegenden Stationen, erklärt sich durch die weit ausgedehnten dahinter liegenden niedrigen Wiesenflächen, welche bei höhern Wasserständen überfluthet werden und daher groſse Massen aufnehmen. Man darf wohl erwarten, daſs manche beabsichtigte Anlagen auch in dieser Beziehung merkliche Aenderungen herbeiführen werden, und daſs namentlich der Caseburger Durchstich eine bedeutende Erniedrigung des Hochwassers bei Swinemünde zur Folge haben wird, während nicht zu besorgen ist, daſs bei der kurzen Dauer der höchsten Fluthen eine auffallende Hebung des Wassers im Haff eintreten kann. Die sehr starken Schwankungen bei Wittower Posthaus und namentlich bei Stralsund erklären sich endlich durch die eigenthümliche Lage dieser Orte, denen bei Nordostwinden das Wasser von verschiedenen Seiten zuströmt.

Es dürfte endlich noch von Interesse sein, einige gleichzeitig an der ganzen Küste beobachteten besonders hohen und niedrigen Wasserstände mit einander zu vergleichen. Dabei darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, daſs die auf den verschiedenen Stationen notirten Winde jedesmal mehr oder weniger von einander abweichen, auch die Zeiten der höchsten Anschwellungen oder tiefsten Senkungen nicht immer zusammenfallen, vielmehr oft um einen, zuweilen sogar um mehrere Tage von einander verschieden sind. Die folgenden Tabellen enthalten die Differenzen gegen die oben angegebenen mittlern Wasserstände.

Hohe Wasserstände.

	März 1849	Januar 1858	November 1872	Februar 1874
Wittower Posthaus . .	+ 2′ 5″	+ 3′ 7″	+ 7′ 3″	+ 4′ 7″
Stralsund	+ 2 5	+ 4 1	+ 7 10	+ 6 10
Swinemünde	+ 2 6	+ 3 4	+ 5 7	+ 6 4
Colbergermünde . . .	+ 2 8	+ 4 2	+ 2 8	+ 7 2
Rügenwaldermünde . .	+ 2 4	+ 3 6	+ 3 0	+ 4 3
Stolpmünde	+ 3 3	+ 3 9	+ 2 0	+ 5 3
Neufahrwasser . . .	+ 2 6	+ 3 3	+ 1 6	– 0 6
Pillau	+ 2 10	+ 2 2	+ 0 11	+ 1 6
Königsberg	+ 4 5	+ 2 0	+ 0 10	+ 1 10
Elbing	+ 3 7	+ 2 5	+ 4 4	+ 3 1
Memel	+ 4 9	+ 2 3	+ 1 0	+ 5 9

Die in der ersten Spalte angegebenen Wasserstände von 1849 traten in den östlichen Stationen am 13. in Königsberg und Memel sogar schon am 12. März ein, von Colbergermünde ab bis Wittower Posthaus dagegen erst am 14. Der Wind wird in den westlichen Stationen als NNO, weiterhin als NNW und in Memel als W bezeichnet, doch überall wird er Sturm genannt.

Die hohen Wasserstände, welche die zweite Spalte bezeichnet, fanden in den westlichen Stationen am 21. Januar, in den östlichen dagegen am folgenden Tage statt. Der Wind ist überall NO oder ONO und als Sturm oder Orkan bezeichnet.

Die Anschwellungen im November 1872 waren im Stralsunder Bezirk höher, als solche sonst jemals vorgekommen sind. Sie erfolgten hier bei einem heftigen ONO Sturm am 13. und derselbe Wind erstreckte sich gleichzeitig bis zur Russischen Grenze, während auf allen Stationen an demselben Tage die grösste Erhebung des Wassers sich zeigte. Diese wurde aber weiter nach Osten immer geringer, in Elbing jedoch wieder sehr bedeutend wegen der grofsen Ausdehnung des Haffes in der Richtung des Windes.

Bei dem NO-Sturm am 9. Februar 1874 erreichten die Anschwellungen in Swinemünde bis Stolpmünde die grösste Höhe, während sie bei Stralsund und Wittower Posthaus niedriger, als

1872 blieben und die Maxima daselbst erst am folgenden Tage eintraten. Weiter ostwärts nahm der Wind aber mehr eine westliche Richtung an, woher er vor Memel wieder einen starken Aufstau veranlafste. Auffallend ist es aber, dafs in derselben Zeit der Pegel bei Neufahrwasser sogar 6 Zoll unter Mittelwasser markirte.

Niedrige Wasserstände.

	April 1849	November 1861	December 1862	December 1868
Wittower Posthaus . .	— 1′ 8″	— 3′ 9″	— 2′ 6″	— 3′ 8″
Stralsund	— 2 0	— 5 2	— 2 4	— 2 10
Swinemünde	— 1 8	— 3 11	— 2 7	— 3 11
Colbergermünde . . .	— 1 4	— 3 6	— 2 3	— 3 8
Rügenwaldermünde . .	— 1 3	— 2 11	— 2 1	— 2 9
Stolpmünde	— 1 1	— 3 0	— 2 2	— 2 9
Neufahrwasser . . .	— 1 0	— 2 3	— 1 6	— 0 3
Pillau	— 1 0	— 0 10	— 2 7	— 0 10
Königsberg	— 1 2	— 0 11	— 0 10	— 0 5
Elbing	— 0 11	— 1 2	— 2 7	— 2 1
Memel	— 0 1	— 0 2	— 2 11	+ 1 1

Die erste Spalte ergiebt die niedrigen Wasserstände vom 19. April 1849. Der Wind war nur mäfsig, doch war er anhaltend SW oder WSW gewesen. Es erklärt sich daraus, dafs man in Memel nahe den mittlern Wasserstand behielt.

Am 26. November 1861 wurde längs der ganzen Küstenstrecke ein starker Wind, mehrfach Sturm genannt, aus S oder SSW beobachtet. Der Pegel bei Elbing hatte aber 6 Tage früher einen noch tiefern Stand, nämlich von 3′ 2″ unter Mittelwasser markirt.

Die folgende Spalte enthält die niedrigsten Wasserstände, die vom 9. bis 19. December 1862 eintraten. Der Wind, der lange Zeit hindurch anhielt, war mit geringen Abweichungen SO. In den östlich belegenen Stationen sank das Wasser am frühsten herab, während weiter westlich die Minima immer später beobachtet wurden.

Die in der letzten Spalte angegebenen niedrigsten Wasser-

stände wurden grossentheils am 10. December 1868 beobachtet, zum Theil auch am 9. oder 11. In den westlichen Stationen war der Wind S, in Hinterpommern SW und in Memel nahe W, woher der Pegel hier sogar 11 Zoll über Mittelwasser angab.

Wenn die Erscheinungen, welche die vorstehenden Zusammenstellungen nachweisen, sich auch keineswegs in allen Einzelheiten sicher erklären lassen, so ergiebt sich daraus doch unverkennbar, daſs das Meer anschwillt, wenn der Wind gegen das Ufer gerichtet ist, und daſs es fällt, wenn in entgegesetzter Richtung der Wind von der Landseite kommt. Die Anschwellung oder Senkung ist aber um so höher oder tiefer, je heftiger und dauernder diese Winde sind. Ohne Zweifel tritt hierbei nicht nur diejenige Erhöhung des Wasserstandes ein, welche das Auflaufen der Wellen auf den ansteigenden Grund bedingt, und wovon § 5 die Rede war, sondern die bewegte Luft theilt auſserdem auch der Oberfläche des Wassers eine entsprechende Bewegung mit, und giebt derselben eine sanfte Steigung in dieser Richtung. Wie einfach und natürlich diese Erklärung auch ist, so hat man sich dennoch damit nicht begnügt, und vielmehr die theilweisen Anschwellungen durch den verschiedenen Barometerstand zu erklären versucht. Es leidet auch keinen Zweifel, daſs wenn die Barometerstände an zwei verschiedenen Punkten desselben Meeres von einander abweichen, und eine Ausgleichung in der Atmosphäre nicht erfolgt, daſs alsdann das Wasser unter dem stärkern Luftdruck seitwärts ausweichen und eine Erhebung des Wasserspiegels an der Stelle veranlassen wird, die weniger belastet ist. Manche Beobachtungen zeigen in der That den Zusammenhang zwischen dem Wasserstande der See und dem Luftdruck. Wenn der mittlere Barometerstand mit β bezeichnet wird, so müſste bei einem Barometerstande b der Wasserstand sich über den mittlern um

$$n(\beta - b)$$

erheben, und der Factor n wäre nichts andres, als das Verhältniſs des specifischen Gewichts des Quecksilbers zu dem des Seewassers. Die in Lorient gemachten und von Daussy zusammengestellten Beobachtungen ergaben $n = 15{,}5$ und diejenigen in Brest $n = 12{,}3$. Aimé sagt dagegen, er habe durch Verbindung der in Algier beobachteten Wasserstände vergleichungsweise gegen

die Barometerstände, $n = 13,1$ gefunden, also genau das Verhältnifs des specifischen Gewichts des Quecksilbers gegen das Wasser des Mittelländischen Meers bei der Temperatur von 15 Grad.*)

Wie interessant diese Resultate auch sind, so darf man doch nicht unbeachtet lassen, dafs verschiedene Barometerstände schon an sich entsprechende Luftströmungen oder Winde veranlassen, und dafs diese um so stärker sind, je grösser die Differenz ist. Sonach kommt man auch bei dieser Erklärung wieder auf die frühere zurück. In vielen Fällen bemerkt man aber beim Vergleich der Wasserstände verschiedener nicht weit von einander entfernter Orte so grofse Unterschiede, dafs diese sich durch die Differenzen der Barometerstände nicht mehr erklären lassen. Namentlich zeigen dieses die Beobachtungen in Königsberg und Elbing. Beide Stationen sind nur 12 Meilen von einander entfernt, die Barometerstände können daher unmöglich längere Zeit hindurch bedeutend von einander abweichen, und nichts desto weniger sind die Wasserstände daselbst oft sehr verschieden. Schon die vorstehenden Tabellen weisen Unterschiede von 40 Zoll nach. Sollte der verschiedene Luftdruck diese veranlafst haben, so müfsten die Barometerstände an beiden Orten sogar um $2\frac{1}{2}$ Zoll von einander verschieden gewesen sein. Viel natürlicher ist die erste Erklärung. Der Sturm aus Nord-Ost, der also in der Richtung des Haffes wehte, trieb dabei das Wasser vor Elbing auf.

§ 11.

Meeres-Strömungen.

Abgesehn von den Strömungen vor den Mündungen der Flüsse, die man zuweilen noch weit in das Meer verfolgen kann, so wie auch von denen, welche Fluth und Ebbe veranlassen, zeigen sich in den grofsen Weltmeeren noch mächtige Strömungen, welche nicht nur auf die Uferbildung wesentlichen Einflufs haben, und beim Betriebe der Schiffahrt die höchste Beachtung fordern,

*) Nach der bereits angeführten Mittheilung von Aimé in den comtes rendus. 1844.

sondern die auch die klimatischen Verhältnisse der Küsten-Länder bedingen und in grofsem Maafse eine Ausgleichung der Temperatur veranlassen. Die Ursachen ihres Entstehns sind nicht immer dieselben. Es mag zunächst von den einfachern die Rede sein, deren Wirkungen mehr local bleiben und nicht über grofse Meeresflächen sich verbreiten.

In der Strafse von Gibraltar findet stets eine östliche Strömung*) statt, die also aus dem Atlantischen in das Mittelländische Meer sich ergiefst. Die Segelschiffe, welche das Letztere verlassen wollen, brauchen einen starken östlichen Wind, weil sie sonst den Strom nicht überwinden können, und es geschieht nicht selten, dafs sie mehrere Monate liegen müssen, ehe ihnen der Durchgang möglich wird. Ganz dasselbe ist im Rothen Meer der Fall, welches gleichfalls durch die Strafse Babelmandeb aus dem Indischen Ocean dauernd gespeist wird.

In das Rothe Meer, das beinahe ganz in der heifsen Zone liegt, indem es sich vom 13. bis zum 30. Breitengrade erstreckt, ergiefst sich kein gröfserer Strom. Es findet daher hier ohne Zweifel eine sehr starke Verdunstung statt, und wenn es mit dem Weltmeer nicht in Verbindung stände, so würde es, wie das Todte Meer, unter den allgemeinen Meeresspiegel herabsinken und vielleicht ganz versiegen. Da eine solche Verbindung indessen besteht, so erklärt sich der ununterbrochene Zuflufs, indem dadurch die sehr grofsen Wassermassen ersetzt werden, welche durch Verdunstung in die Atmosphäre treten.

Bei dem Mittelländischen Meere sind die Verhältnisse wesentlich verschieden, indem eines Theils seine Lage schon mehr nördlich ist und aufserdem auch der Nil, die Donau, die Rhone und andre bedeutende Ströme dasselbe speisen. Manche Thatsachen haben hier zu einer andern Erklärung geführt und die Ursache der dauernden Einströmung deutlich erkennen lassen. Schon im Jahr 1712 bemerkte der Befehlshaber eines Französischen

---

*) Die Strömungen werden stets nach den Richtungen bezeichnet, wohin das Wasser fliefst. Die Bezeichnung ist also derjenigen entgegengesetzt, welche man für die Winde gebraucht. Der östliche Strom kommt aus Westen, der östliche Wind dagegen aus Osten. Diese Bezeichnungsart ist nicht nur bei uns, sondern auch in England und Frankreich üblich.

armirten Schiffes, daſs ein Niederländisches Fahrzeug, welches er auf der Höhe von Tanger versenkt hatte, kurze Zeit darauf etwa 4 Lieus westlich, also in einer Richtung, die der des sichtbaren Stroms ganz entgegengesetzt war, von den Wellen auf das Ufer geworfen wurde. Aehnliche Erfahrungen sind seitdem verschiedentlich gemacht, wenn auch diese submarine Strömung bisher noch nicht direct beobachtet ist. Am wichtigsten ist eine Untersuchung von Wollaston. Demselben wurde nämlich eine Flasche Seewasser übergeben, das etwa 50 Seemeilen westwärts von der Straſse von Gibraltar und zwar in der Tiefe von 670 Faden oder 4000 Fuſs geschöpft war, und in diesem Wasser betrug der Salzgehalt das Vierfache von demjenigen, welchen man im Atlantischen Meer bisher gefunden hatte. Hiernach leidet es keinen Zweifel, daſs im Mittelländischen Meere der Salzgehalt in den verschiedenen Tiefen nicht derselbe ist, vielmehr mit der Tiefe zunimmt, und sonach das Wasser in seinen obern Schichten specifisch leichter ist, als in den untern. Im Atlantischen Meere findet eine solche Verschiedenheit nur in geringem Maaſse statt, weil hier die groſsen Strömungen, von denen später die Rede sein wird, so wie auch die kräftige Fluth und Ebbe die ganze Masse mehr in Bewegung setzen und daher solche verschiedenartige Schichtung vermindern. Indem nun diese beiden Meere durch eine Oeffnung von 7 Seemeilen Breite und vielleicht 400 Fuſs Tiefe mit einander verbunden sind, so kann es nicht fehlen, daſs die schwerere untere Schicht nach dem Atlantischen Ocean abflieſst und dadurch ein submariner mächtiger Strom entsteht. Indem dieser sehr groſse Wassermassen abführt und dadurch den Spiegel des Mittelländischen Meers senkt, so erfolgt in der Nähe der Oberfläche die starke Einströmung, welche der Augenschein erkennen läſst. Letztere erklärt sich also selbst in dem Falle, daſs die Verdunstung durch die Ergiebigkeit der Zuflüsse aus den umgebenden Küsten-Ländern vollständig gedeckt werden sollte. Aehnliche Verhältnisse sind auch an der Mündung des Rothen Meers wahrscheinlich.

Eine andre wichtige Strömung, der Aequatorial-Strom, durch die Drehung der Erde veranlaſst, findet in der heiſsen Zone oder zwischen den Wendekreisen statt. Er bewegt das Wasser von Osten nach Westen mit der mäſsigen Geschwindig-

keit von etwa 10 Seemeilen oder $2^1/_2$ Deutschen Meilen in 24 Stunden. Schon Columbus bemerkte ihn auf seiner dritten Reise. Sein Zusammenhang mit den Passatwinden steht wohl aufser Zweifel, ob er aber durch diese, also nur durch Adhäsion der Luft, verursacht wird, oder ob dieselbe Ursache beide Strömungen erregt, ist nicht entschieden. Luft wie Wasser strömen vielfach aus höhern Breiten dem Aequator zu. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ist hier aber gröfser, als in den höhern Breiten. Luft und Wasser haben, wenn sie sich in der Richtung gegen den Aequator bewegen, Geschwindigkeiten, die nicht so grofs sind, als die der Erdoberfläche, und drehn sich folglich minder schnell um die Achse der Erde, oder sie bewegen sich vergleichungsweise gegen die feste Masse der Oberfläche von Osten nach Westen.

Von viel gröfserer Bedeutung sind diejenigen Strömungen in den grofsen Meeren, die vollständige Kreisläufe beschreiben, sehr verschiedene Breiten-Grade berühren und den wesentlichsten Einflufs auf die Ausgleichung der Temperaturen ausüben. Der bekannteste und vielleicht der bedeutendste unter diesen ist der Golfstrom, der im Mexicanischen Meerbusen seinen Anfang nimmt, längs der östlichen Küste von Nordamerika bis gegen Neufundland sich hinzieht und sich von hier ostwärts wendet. Boston gegenüber hat er die Breite von 80 Seemeilen oder 20 Deutschen Meilen und seine Geschwindigkeit mifst stellenweise über eine Deutsche Meile in der Stunde. Weiter nordwärts wird er schwächer, indem er sich zugleich erweitert oder an Breite zunimmt. Es ergiebt sich hieraus, welchen wesentlichen Einflufs er auf die höchst frequente Schiffahrt zwischen Europa und Nord-Amerika haben mufs. Schiffe, die nicht gerade zum Schnellsegeln eingerichtet sind, können nur bei günstigem und frischem Winde gegen ihn aufkommen, sonst werden sie mit ihm fortgerissen, und indem die ganze Wassermasse um sie in gleicher Bewegung ist und die Ufer viel zu weit entfernt sind, um noch gesehn zu werden, so bemerken die Schiffer gar nicht die starke Strömung, von der sie in ganz andrer Richtung, als sie zu fahren glauben, fortgerissen werden. Noch im Anfange dieses Jahrhunderts war es allgemein üblich, dafs Schiffe, die von Europa aus nach Newyork, Boston und andern Häfen bestimmt waren,

mit Rücksicht auf diesen Strom nicht den directen Weg einschlugen, vielmehr südwärts fuhren, bis sie hinter den Canarischen Inseln den Passatwind erreichten, der sie nach den Westindischen Inseln und in den Golfstrom brachte. Mit diesem trieben sie alsdann soweit nordwärts, bis sie ihren Bestimmungsort erreichten. Dieser Vorsicht unerachtet gehörte es dennoch nicht zu den Seltenheiten, dafs sie vom Strom zu weit getrieben wurden, und dafs alsdann nichts übrig blieb, als dem Strom noch weiter bis in die Nähe von Irland zu folgen und den ganzen Weg nochmals zu machen.

Indem die Wassermasse, welche das Schiff umgiebt, dieselbe Bewegung hat, so ist letztere durch das Log nicht zu erkennen, eben so wenig ist es aber auch möglich, das Schiff mit Ankern am Grunde des Meeres festzuhalten, weil die Tiefe zu grofs ist. Man hatte jedoch schon früher bemerkt, dafs die Strömung, wenigstens stellenweise, nicht bis zu unerreichbaren Tiefen sich fortsetzt, und dafs daher kleine Böte, wenn von solchen aus recht grosse beschwerte Kessel tief herabgelassen wurden, sehr heftig gegen den Strom trieben, also mehr oder weniger dem Einfluss desselben entzogen wurden. Im Allgemeinen lässt sich die Richtung und Stärke des Stroms nur aus astronomischen Beobachtungen erkennen, indem der Weg, den das Schiff nach den letztern, also wirklich zurückgelegt hat, mit dem Wege verglichen wird, den das Besteck, oder der Compas und das Log ergiebt. Hierdurch ist die Strömung nach ihrer Richtung und Stärke, die sie an verschiedenen Stellen hat, bekannt geworden und dem Schiffer das Mittel geboten, derselben in der passendsten Weise sich zu entziehn, oder sie zu benutzen.

Der Schiffer kann indessen noch in andrer Weise sicher erkennen, ob er in diesem Strom sich befindet, und hierzu dient das Thermometer. Der Strom, der das stark erwärmte Wasser aus dem Mexicanischen Meerbusen nordwärts führt, hat eine bedeutend höhere Temperatur, als das umgebende Seewasser. Es kommt also nur darauf an, die Temperatur des Wassers oft zu messen, um zu wissen, ob das Schiff bereits in den Strom getreten ist. Aufserdem giebt auch schon die äufsere Erscheinung der Oberfläche sehr auffallend den Strom und zuweilen sogar seine scharfe Begrenzung zu erkennen, so dafs man häufig mit

voller Sicherheit wahrnehmen kann, dafs das Schiff in ihn einfährt. Das Wasser des Stroms ist wegen des stärkern Salzgehaltes, ohnerachtet seiner vollkommenen Klarheit dunkelblau gefärbt, und die darauf schwimmenden Körper werden aus ihm nach seinen Ufern, also nach dem stehenden Wasser daneben getrieben, woher bei ruhiger Witterung die Begrenzung sich durch einen mehr oder minder breiten Streif von schwimmenden Gräsern u. dgl. markirt. Diese Erscheinung ist leicht erklärlich. Wie in einem Glase mit warmem Wasser, das man in ein kaltes Zimmer stellt, die Abkühlung in der Oberfläche und an den Seitenwänden beginnt, und neben den letztern das kältere und folglich schwerere Wasser herabsinkt, während das wärmere in der Achse des Glases ansteigt, wodurch eine Strömung entsteht, die in der Oberfläche von der Mitte aus nach den Rändern gerichtet ist, so geschieht dieses auch in der Wassermasse des Golfstroms, und alle darauf schwimmenden Gegenstände werden nach seinen beiderseitigen Rändern hingetrieben. Man hat diese Erscheinung mit dem Verhalten von schweren Körpern verglichen, die auf dachförmig gegen einander gelehnte Flächen geworfen werden, und nach der einen oder der andern Seite herabfallen.

Ich gehe nunmehr zur nähern Bezeichnung dieses Stroms über, indem ich für den Haupttheil desselben, der sich längs der Küste von Nord-Amerika hinzieht, die bei Gelegenheit der Küsten-Vermessung gemachten Beobachtungen benutze.*) In dem Mexicanischen Meerbusen beginnt der Strom, woselbst in Folge der erwähnten Aequatorial-Strömung das Wasser sich anhäuft, das bei zunehmender Erwärmung noch um so höher anschwillt. Es findet seinen Abflufs in der Bahama-Strafse, aus der es zwischen der gleichnamigen Insel und der Halbinsel Florida hinaustritt. Anfangs strömt es ganz nordwärts, indem es von der zurücktretenden Küste von Georgia bis 100 Seemeilen entfernt bleibt. Der Strom ist zunächst nur etwa 50 Seemeilen breit, und hier hat er die gröfste Geschwindigkeit, die bis $1^1/_4$ Deutsche Meile in der Stunde beträgt. Längs Süd- und Nord-Carolina ist er

*) A. D. Bache, lecture on the Golf Stream, prepared at the Request of the Americain Association for the Advancement of Science, in Silliman's Americain Journal. November 1860.

parallel zur Küste, daher nordöstlich gerichtet. Er verbreitet sich hier aber sehr stark, indem ein Theil des Wassers schon unter dem 30. Breitengrade sich ganz nach Osten wendet. Dem Cap Hatteras gegenüber, in Nord-Carolina, beträgt seine Breite schon 450 Seemeilen, doch ist in derselben die Strömung nicht überall gleich stark, vielmehr befinden sich darin drei tiefere Schläuche, die mehr oder minder ostwärts gerichtet sind, und in welchen sowohl die Geschwindigkeit, als die Temperatur bedeutender sind, als in den zwischenliegenden Wasserflächen. Unter den verschiedenen Messungen der Wärme des Wassers mag eine angeführt werden, die etwas weiter nordwärts, nämlich unter dem 36. Breitengrade angestellt ist. Die Temperatur in der Oberfläche des Stroms war $23\frac{1}{2}$ Grade Réaumur, in 100 Faden Tiefe $17\frac{1}{3}$, in 200 Faden 15, in 300 Faden $13\frac{1}{3}$, in 400 Faden $10\frac{2}{3}$ und in 500 Faden oder in der Tiefe von 3000 Fufs $8\frac{1}{2}$ Grade R. Das stehende Wasser zur Seite hatte zwar im Meeresspiegel die hohe Temperatur von $22\frac{1}{4}$ Graden, indem wahrscheinlich die erwärmte Oberfläche des Stroms seitwärts überflofs, in der Tiefe von 70 Faden zeigte das Thermometer aber nur noch 8 und bei 500 Faden nur 3 Grade.

Der Strom tritt demnächst, indem er immer schwächer wird, gegen die Bank von Neufundland. In seiner Oberfläche hat er noch die Temperatur von 17 Graden, während das Meer daneben nur etwa auf 8 Grade erwärmt ist. Hier wendet er sich ganz östlich und zum Theil sogar südöstlich nach den Azorischen Inseln. Der erste Theil erreicht die Europäische Küste, namentlich Irland, woselbst er während des Winters die milde Temperatur veranlafst, die im auffallenden Gegensatz mit der Kälte an der Amerikanischen Küste von Labrador steht, obwohl beide unter gleichem Breitengrade liegen. Hier sind die Winter viel strenger und anhaltender, als im nördlichen Deutschland, während in Irland, wie bekannt, die Myrthe ein Gartengewächs ist, das keines Schutzes bedarf. Doch auch andre Küsten von Europa empfinden den wohlthätigen Einflufs des Golf-Stroms. Er tritt in den Canal zwischen England und Frankreich ein, umströmt andrerseits die Hebridischen Inseln, erreicht die Küste von Norwegen, und selbst in Nova-Zembla und Spitzbergen wird die Temperatur durch ihn gemildert.

Endlich mufs noch auf eine Meeres-Strömung hingewiesen werden, die, wenn sie vergleichungsweise zu den bezeichneten auch sehr geringfügig ist, und sogar häufig durch entgegenstehende Winde ganz zurückgedrängt wird, dennoch dem Deutschen Baumeister weit näher liegt, indem sie den wesentlichsten Einflufs auf die Ausbildung der Ostsee-Küste ausgeübt hat und noch ausübt. Ihre Wirkungen fordern sowohl bei Hafen-Anlagen, als beim Schutz der Seeufer die höchste Beachtung.

Auf der Preufsischen Ostsee-Küste wiederholt sich mehrfach die Haff-Bildung. Weite Buchten, die vielleicht in frühester Zeit weniger vom Meere getrennt waren, sind durch lange schmale Landzungen, Nehrungen genannt, von demselben geschieden. Am vollständigsten zeigt sich dieses in der Provinz Ost-Preufsen, wo das Frische und das Curische Haff bis auf je eine sehr schmale Oeffnung von der See getrennt sind. Auch die Bucht vor Danzig ist von der Westseite aus durch eine ähnliche Nehrung zum Theil abgeschlossen, doch tritt diese nicht bis in die Nähe des gegenüberliegenden Ufers, vielmehr läfst sie eine 5 Meilen breite Oeffnung frei, so dafs sie, wie es scheint, nur den Anfang einer Haff-Bildung bezeichnet. Ueber die Ursache dieser auffallenden Begrenzungen des Meeres wird später bei Gelegenheit der Seeufer die Rede sein, sie werden hier nur wegen der eigenthümlichen Erscheinung erwähnt, dafs alle drei Nehrungen auf der westlichen oder südwestlichen Seite sich an das feste Land anschliefsen und die Verbindung mit der See auf der östlichen oder nördlichen Seite statt findet. Im Frischen Haff ist dieses freilich scheinbar nicht der Fall, vielmehr tritt von dem nördlichen Ufer aus eine etwa $1\frac{1}{2}$ Meilen lange Landzunge an die Oeffnung, wie Fig. 27 auf Taf. IV zeigt. Diese besteht aber nicht aus aufgeschwemmtem Sande, vielmehr aus gewachsenem Thonboden, der in geringer Entfernung von Pillau schon zu Tage liegt.

Hierzu kommt, dafs die Sand- und Kiesablagerungen vor scharf vortretenden Ufer-Ecken, wie vor Darserort, ohnfern der Mecklenburgischen Grenze, und vor Brüsterort auf der nordwestlichen Ecke des Samlandes, gleichfalls Richtungen haben, welche denen der Nehrungen entsprechen.

Gewifs ist die Voraussetzung gegründet, dafs bei den Nehrungen, sowie auch bei diesen Haken, die übereinstimmenden

Richtungen durch eine gemeinsame Ursache veranlaſst sind, und solche kann nicht füglich eine andre sein, als die Strömung, die längs der Pommerschen Küste und vor dem Danziger Regierungs-Bezirke von Westen nach Osten gerichtet ist, die sich von hier aber, indem sie dem Ufer folgt, nordwärts wendet. Der Zusammenhang zwischen der Küstenströmung und diesen Sandablagerungen wird später nachgewiesen werden.

Auſserdem giebt es noch vielfache Thatsachen, welche das Vorhandensein der bezeichneten Küstenströmung unzweifelhaft darthun. Die Steindämme oder Molen, welche die Mündungen unserer Häfen von beiden Seiten einschlieſsen, versanden an der westlichen oder südlichen Seite stärker, und hier rückt der Strand in Folge dessen meist schneller vor, als an der entgegengesetzten Seite. Wenn man bei ruhiger Witterung den ausgehenden Strom bei Pillau beachtet, so bemerkt man sehr deutlich, daſs er sich sogleich nordwärts wendet, und alle darauf schwimmende Körper werden in derselben Richtung getrieben. Es wurde auch stets Klage geführt, daſs die Seebäder auf der Nordseite von Pillau oft süſses Wasser haben, während vor der gegenüberliegenden Nehrung und zwar unmittelbar neben der Mündung des Haffes stets reines Seewasser angetroffen wurde. Der ausgehende Strom bleibt indessen, seitdem die Norder-Mole weiter hinausgeführt ist, weiter von der Küste entfernt, und die erwähnte Klage hört man gegenwärtig nicht mehr.

Wenn diese Umstände die Existenz eines vorherrschenden Küstenstroms schon früher auſser Zweifel stellten, so hat dieselbe noch eine auffallende Bestätigung gefunden, die zugleich unmittelbar die Veranlassung dieses Stroms nachweist. Im Sommer 1834 maaſs Alexander von Humboldt auf einer Seereise von Swinemünde nach Königsberg die Temperatur des Wassers. Dieselbe war bei Swinemünde $18\frac{1}{2}$ Grad Réaumur, bei Treptow $16\frac{1}{4}$ Grad, zwischen Leba und Rixhöft sank sie plötzlich auf $9\frac{1}{2}$ und sogar bis 9 Grade herab, während sie östlich von Hela wieder $17\frac{3}{4}$ Grade gefunden wurde. Die starke Abkühlung des Wassers neben der vortretenden Ufer-Ecke zwischen Leba und Rixhöft konnte nur die Folge eines hier eintretenden kalten Stroms sein, der sich wahrscheinlich in geringerem Maaſse, wie die vorhergehende Beobachtung andeutet, schon weiter westlich bemerken

liefs. Ueber den Ursprung dieses kalten Stroms kann man nicht zweifelhaft sein, er bewegt sich längs der östlichen Küste Schwedens von Norden nach Süden und trifft, indem er zwischen den Inseln Oeland und Gottland hindurch geht, den bezeichneten Theil der Preufsischen Küste. Sein Einflufs auf die klimatischen Verhältnisse hat sich seitdem auch herausgestellt, indem die mittlere Temperatur bei Neustadt merklich geringer, als an andern Beobachtungsorten in der Umgebung ist.

Die Ostsee in Verbindung mit dem Bothnischen Meerbusen erstreckt sich vom 54. bis zum 66. Breitengrade, ihre Ausdehnung in dieser Richtung umfafst also 12 Grade und es kann nicht fehlen, dafs sehr bedeutende Temperatur-Differenzen zwischen beiden Endpunkten statt finden. Es wird also eine südliche kalte und eine nördliche warme Strömung eintreten müssen. Die erste bewegt sich in einer Richtung, wo die Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erde gröfser wird, sie kann derselben nicht folgen und wird daher an das westliche Ufer der Ostsee gedrängt, die zweite dagegen gelangt in Gegenden, wo diese Geschwindigkeit geringer wird, sie eilt also der Erde voran und lehnt sich an die ostwärts belegenen Ufer. Hierdurch erklärt sich nicht nur die nördliche Strömung vor Pillau und Memel, sondern auch die östliche längs der Pommerschen Küste bis zur Bucht vor Danzig.

§ 12.

Meerestiefen, Salzgehalt und erdige Beimengungen des Seewassers.

Mäfsige Tiefen des Meeres werden, wie bereits im zweiten Theil dieses Handbuchs § 13 erwähnt ist, mit dem gewöhnlichen Loth gemessen. Bei gröfsern Tiefen und namentlich wenn man durch die Sondirung zugleich die Beschaffenheit des Grundes erkennen will, so dafs der Sand oder die Muscheln an dem Talgklumpen haften sollen, den man in die Höhlung der untern Fläche des Lothes eingestrichen hat, darf man das Letztere nicht mehr während der Fahrt auswerfen, das Schiff mufs vielmehr angehalten werden, oder die Lothung erfolgt von einem

Boote aus. Bei sehr groſser Tiefe führt indessen auch diese Vorsicht zu keinem Resultat. Die Leine muſs nämlich hinreichend stark sein, damit man an ihr das Loth wieder heben kann, sie muſs auch specifisch schwerer, als das Seewasser sein, weil sie sonst bei gewisser Tiefe das weitere Herabsinken des Lothes verhindern würde. Hierdurch vermehrt sich nach und nach das Gewicht, welches der obere Theil der Leine zu tragen hat, so sehr, daſs diese endlich zerreiſst. Namentlich geschieht dieses, wenn das Loth an sich schon ein bedeutendes Gewicht hat, ein solches ist aber nothwendig, weil es sonst nicht schnell genug herabsinken, vielmedr der Faden durch die Strömungen, die er in den verschiedenen Wassertiefen antrifft, seitwärts ausgezogen würde. Indem man früher stets der Ansicht folgte, daſs an der Leine das ganze, schwere Loth wieder gehoben werden müsse, und daher diesem das nöthige Gewicht nicht gegeben wurde, so ist vielfach der Irrthum vorgekommen, daſs Stellen im Meere, die namentlich von heftigen Strömungen getroffen werden, unmeſsbar tief zu sein schienen, weil die Lothleine ihrer groſsen Länge unerachtet bei jedem Versuch vollständig auslief, wenn die Tiefen wirklich auch so mäſsig waren, daſs sie in stehendem Wasser mit denselben Leinen gemessen werden konnten.

Der Versuch, die Leine so zu befestigen, daſs sie sich von selbst vom Lothe löst, sobald dieses den Grund berührt, war in sofern sehr miſslich, als nicht nur die wichtige Frage in Betreff der Beschaffenheit des Meeresgrundes alsdann ganz uubeantwortet blieb, sondern auſserdem war es auch jedesmal zweifelhaft, ob das Loth wirklich den Boden erreicht, oder ob vielleicht in Folge andrer Zufälligkeiten es sich von der Leine gelöst hatte.

Die Einrichtung, welche man gegenwärtig meist als die zweckmäſsigste zur Messung groſser Wassertiefen ansieht, ist der von Brooke angegebene Apparat. Er beruht darauf, daſs der *überwiegend gröſste Theil des Gewichtes sich vom Lothe löst*, sobald dieses auf den Grund stöſst, der übrig bleibende geringe Theil desselben bleibt aber an der Leine befestigt und bringt die Proben des Bodens mit herauf, die daran haften, oder auch wohl durch besondere Vorrichtungen davon gefaſst werden, Fig. 25 zeigt diesen Apparat, und zwar *A* in dem Fall, daſs die schwere Kugel daran noch hängt, also während

des Herablassens, und B in der Stellung, die er annimmt, wenn das Loth in den Boden eindringt, und die Kugel sich bereits gelöst hat. Die massive eiserne Kugel ist nach Maafsgabe der erwarteten Tiefe 30 bis 60 Pfund schwer. Sie ist diametral durchbohrt, und das Loth, das aus einer starken Eisenstange besteht, und unten mit der Oeffnung zum Einstreichen des Talgs versehn ist, reicht durch die Kugel hindurch und hat soviel Spielraum, dafs es ohne Hindernifs aus derselben herausgezogen werden kann. An zwei beweglichen Armen ist es mit der Leine verbunden. Diese Arme sind aber noch mit zwei kurzen Nebenarmen versehn, auf welche Ringe aufgezogen werden, die mittelst zweier kurzen Leinen einen eisernen Ring tragen, auf dem die Kugel während des Herabsinkens ruht. Sobald der aus der Kugel vortretende untre Theil des Lothes auf den Boden aufstöfst, also die Lothleine schlaff wird, so zieht die schwere Kugel die beiden Arme herab, und dadurch verlieren die auf die Nebenarme gezogenen Ringe ihre Unterstützung, sie fallen nieder und mit ihnen zugleich die Kugel. Windet man nunmehr die Leine auf, so zieht sich das Loth durch die Kugel hindurch und folgt der Leine, während die Kugel auf dem Meeresgrunde liegen bleibt. Dieses Loth darf indessen nicht langsam herabgelassen werden, wodurch die Leine zu sehr belastet würde, es mufs vielmehr frei herabfallen, indem die Winde, auf der die Leine liegt, ihrer Bewegung leicht folgt.

Man hat versucht, statt der gewöhnlichen Lothleinen seidene Schnüre, auch Eisendrähte zu benutzen, doch ist man zu den erstern wieder zurückgekehrt. Man verfertigt dieselben in sehr grofsen Längen, so dafs sie zuweilen zwei Deutsche Meilen lang sind, und dennoch giebt es im Atlantischen Meere manche Stellen, wo man selbst mit diesen keinen Grund erreicht hat. Maury meint, dafs die tiefste Stelle zwischen dem 35. und 40. Grade nördlicher Breite und swar im Süden der Bank von Neufundland sich befindet.*)

Dafs auch beim Gebrauch dieses Lothes Täuschungen leicht möglich sind, unterliegt keinem Zweifel. Einigermaafsen kann man aus der Gleichförmigkeit der Bewegung auf das dauernde

*) The physical geography of the Sea. Cap. XII.

Sinken des Lothes schliefsen, indem man die Zeit des Vorübergangсes jedes Knotens beobachtet. Diese Knoten sind in Abständen von 100 Faden angebracht. Nach Maury's Mittheilung sinkt das Loth mit stets zunehmender Geschwindigkeit herab, so dafs es anfangs viel langsamer fällt als später. Diese Angabe ist indessen wohl kaum richtig, da die Reibung des Wassers gegen die Kugel die Beschleunigung bald aufheben dürfte, aufserdem aber auch die Reibung gegen die Leine ohnfehlbar mit der gröfsern Länge derselben zunimmt.

Ein andres Instrument, das bei Tiefenmessungen vor der Amerikanischen Küste benutzt wurde, stimmt wesentlich mit dem bekannten Patent-Log überein. Das Instrument ist in einen flachen und breiten Behälter eingeschlossen, damit es beim Herabsinken keine drehende Bewegung annimmt. Aus dem obern Theile ragt eine Achse heraus, an der sich mehrere schraubenförmig gekrümmte Flächen oder Flügel befinden, die beim Niederfallen des Instruments sich umdrehn und, wie beim Woltman'schen Flügel, mehrere Zeiger in Bewegung setzen, welche die Anzahl der Umdrehungen jener Achse angeben. Am untern Ende ist eine Scheibe angebracht, die, sobald sie den Meeresgrund berührt, das erste Getriebe ausrückt, so dafs beim Wiederaufziehn des Instruments keine weitere Bewegung markirt wird. Saxton hat noch die Aenderung eingeführt, dafs aus der obern Fläche zwei Flügelwellen heraustreten, die sich in entgegengesetzten Richtungen mit gleichen Geschwindigkeiten drehn. Hierdurch wird die Drehung des ganzen Instruments, die demselben durch die einzelne Achse mitgetheilt werden könnte, aufgehoben.

Dieses Instrument hat ohne Zweifel manche Vorzüge vor dem obigen Lothe. Beim Herabsinken behält es seine aufrechte Stellung, wofür durch angemessene Vertheilung der Gewichte gesorgt werden kann. In Folge dieser Stellung hängt die Drehung der Flügelwellen allein von dem Wege ab, der in vertikaler Richtung zurückgelegt wird, die horizontalen Versetzungen haben darauf keinen Einflufs, und eben so wenig macht es auch einen Unterschied, ob das Instrument schneller oder langsamer herabfällt. Man läfst es daher möglichst frei fallen. Ein Uebelstand ist nur, dafs es wegen seines Gewichtes eine starke Leine zum Aufholen nöthig macht, und daher bei den

gröfsten Tiefen kaum noch zu gebrauchen sein dürfte. Auch bringt es keine Proben des Grundes mit herauf.

Das gewöhnliche Loth ist am Boden mit einer Oeffnung versehn, die sich nach innen erweitert, damit der Talgklumpen, den man einstreicht, darin fest haftet. Man läfst diesen Klumpen etwa 3 Linien weit vor den umgebenden Rand vortreten, damit er sich scharf auf den Grund des Meeres aufsetzt und kleinere Körper sich darin eindrücken und daran haften. Sand, Kies, kleine Muscheln u. dgl. werden auf diese Art gefafst und heraufgezogen. Ein fester Felsboden und gröfsere Steine lassen aber Eindrücke zurück, aus denen man ziemlich sicher auf die berührte Oberfläche schliefsen kann. Nur feiner Thonboden giebt sich in dem Talgklumpen wenig zu erkennen, indem dieser beim Einsinken in weichen Schlamm seine Form beinahe gar nicht verändert, auch nur selten einzelne Körnchen des letztern daran haften.

Um in dieser Beziehung gröfsere Sicherheit zu erreichen, und um zugleich nicht gar zu kleine Proben des Grundes zu erhalten, hat man mehrfach und namentlich bei dem vorstehend beschriebenen Loth von Brooke den eisernen Cylinder in seinem untern Ende auf eine gewisse Länge ausgebohrt und einen Ring eingesetzt, auf den ein Ventil von starkem Leder aufschlägt. Wenn die Röhre alsdann weit genug eindringt, und das Ventil sich wieder hinreichend schliefst, so werden bei feinem Seeboden gröfsere Massen eingeschlossen und zu Tage gefördert.

Eine nähere Mittheilung der an einzelnen Stellen der grofsen Meere gemessenen Tiefen erscheint entbehrlich, nachdem die äufsersten Grenzen bereits als unerreichbar mittelst der bisher bekannten Methoden bezeichnet sind. Es mufs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs die Messungen, welche vor der Versenkung der Telegraphen-Cabel zwischen Europa und Nord-Amerika ausgeführt waren, sich später als ganz unrichtig erwiesen. Das Plateau, das nach Maury's Untersuchungen hier vorhanden sein sollte, und das vorzugsweise zum Auflager für das Cabel geeignet erschien, existirte gar nicht. Sonach berechtigen sich wohl einige Zweifel gegen die Resultate ähnlicher Untersuchungen.

Das specifische Gewicht und der Salzgehalt des Seewassers ist

vielfach gemessen worden. In der heifsen Zone scheinen beide etwas gröfser, als in den höhern Breiten zu sein. Die Untersuchungen von Lenz*), nach den auf der Reise von O. von Kotzebue angestellten Messungen, ergeben, dass im Atlantischen Meere das specifische Gewicht des Seewassers etwas gröfser ist, als im Stillen Ocean, und dafs in beiden an gewissen Stellen Maxima vorkommen. Ein solches erreicht im Stillen Ocean nur das specifische Gewicht von 1,0280, während es im Atlantischen Meere bis auf 1,0285 steigt. Das Minimum in beiden Meeren stellte sich auf 1,0266. Die Differenzen sind sonach nicht bedeutend, doch zeigten sich sehr auffallende Abweichungen bei gleichen Breiten nach den verschiedenen geographischen Längen, und namentlich hatte im Atlantischen Ocean das Wasser in der Nähe der Amerikanischen Küste ein gröfseres specifisches Gewicht, als weiter ostwärts. Aufserdem ergaben sich auch an diesen Stellen merkliche Differenzen, je nachdem die Jahreszeiten verschieden waren. Wichtig ist ferner das Resultat, dafs in den niedrigern Breiten und zwar bis zum 45. Grade, der Salzgehalt in verschiedenen Tiefen derselbe bleibt. Das specifische Gewicht des Wassers der Oberfläche unterschied sich nicht von demjenigen des Wassers, welches in 1000 Faden Tiefe geschöpft war. Das specifische Gewicht des Nordsee-Wassers stimmt mit dem des Atlantischen Oceans ziemlich überein. Im Busen der Jade maafs ich dasselbe bei 8 Graden Réaumur, nachdem durch Filtriren die erdigen Theilchen beseitigt waren. Das Filtriren erfolgte aber in geschlossnen Gefäfsen, damit das Wasser dabei nicht verdunsten möchte, wodurch ein unrichtiges Verhältnifs zwischen dem Gewicht desselben, und dem seiner Beimengungen sich herausgestellt hätte. Das specifische Gewicht des filtrirten Wassers fand ich 1,0233 bis 1,0240. Es erreichte das Maximum etwa eine Stunde vor Hochwasser, und dieses erklärt sich wohl dadurch, dafs es alsdann am meisten aus der offenen See zuströmte und am wenigsten mit demjenigen aus der Elbe und Weser versetzt war.

Das specifische Gewicht des Wassers der Ostsee, vor Colbergermünde an einer Stelle geschöpft, wo das Wasser der

*) Poggendorff's Annalen. Band 20.

Persante nicht hinflofs, hatte ich vor mehreren Jahren 1,0061 gefunden, und zu demselben Resultat kam ich wieder, als ich vor Kurzem das Wasser untersuchte, das 4 Deutsche Meilen im Norden von Swinemünde geschöpft war.

Die Verschiedenheit der specifischen Gewichte rührt von dem verschiedenen Gehalt an Salzen her. Im Atlantischen Ocean beträgt derselbe 4,2 bis 5,1 Procent, in der Nordsee ist er etwas geringer, durchschnittlich 4,2. Im mittelländischen Meer stellt er sich nach verschiedenen Messungen auf 4,5 bis 5,6. Wollaston fand denselben dagegen, ostwärts von Gibraltar in der Tiefe von 4000 Fufs geschöpft, gleich 17,5 Procent. Man darf wohl annehmen, dafs im Allgemeinen, wenn das Wasser nicht gerade durch Wellenschlag besonders stark bewegt wird, die untern Schichten salzhaltiger als die obern sind.

Das Wasser, das ich, wie erwähnt, ohnfern Swinemünde geschöpft hatte, liefs beim Verdampfen nur 0,78 Procent Rückstand, der keine erdigen Theilchen enthielt und von weifser Farbe war. Nach den in Riga angestellten Untersuchungen*) betrug der Salzgehalt des Wassers

im Rigaschen Meerbusen .	0,63
auf der Arensburger Rhede	0,67
auf der Rhede vor Windau	0,74
auf der Rhede von Libau .	0,75
zwischen Oeland und Memel	0,80.

Hiernach scheint also mit der Annäherung an die Nordsee der Salzgehalt zuzunehmen. Indem die Rückstände nach dem Verdampfen der fünf verschiedenen Wassermassen chemisch untersucht wurden, gab sich keine wesentliche Verschiedenheit zu erkennen. Das Resultat der letzten Messung war:

Chlornatrium	77,15	Procent
Chlormagnesium . . .	10,57	„
Chlorkalium	1,07	„
Bromnatrium	1,14	„
schwefelsaurer Kalk .	5,05	„
schwefelsaure Magnesia	4,98	„
Kieselsäure	0,04	„

*) Rigasche Industrie-Zeitung. II. Jahrgang 1876. Seite 157.

Bei diesem sehr geringen Salzgehalt des Ostsee-Wassers kann es nicht befremden, dafs dasselbe in seinen physikalischen Eigenschaften sich sehr nahe an diejenigen des destillirten Wassers anschliefst. In Betreff seiner Dichtigkeit bei verschiedenen Temperaturen und seiner stärksten Verdichtung ist dieses schon § 10 nachgewiesen, es mufs aber noch hinzugefügt werden, dafs es auch bei 0 Grad schon zu gefrieren anfängt.

Unter den Apparaten zum Schöpfen des Wassers aus bestimmten Tiefen mag zunächst diejenige Vorrichtung erwähnt werden, womit während ganzer Fluth-Perioden das Wasser zur Bestimmung des Schlickgehalts an dem Jadebusen gehoben wurde. Fig. 26. A zeigt dieselbe in der Seiten-Ansicht und B im Durchschnitt. Sie besteht in einem Blechcylinder, der 8 Zoll hoch und 4 Zoll weit war. Er war oben, wie unten, mit einem festen Boden versehn. Der untere war vollständig geschlossen, der obere dagegen hatte eine Oeffnung, gegen welche an der innern Seite ein Ventil sich anlegte. Die Achse des letztern bewegte sich in entsprechenden Oeffnungen zweier Stege, um eine seitliche Verschiebung zu verhindern. Der obere Steg bildete einen starken Bügel, an den eine Spiralfeder befestigt war, welche die Achse des Ventils herabzog, dasselbe also öffnete. An dem obern Ende dieser Achse, woran sich ein Ring befand, hing der ganze Apparat, und ein zweiter Ring war an den untern Boden angelöthet. In letztern wurde die Leine geknüpft, die das Gewicht trug, welches den Cylinder versenkte. Beim Gebrauch des Instruments wurde zunächst das Gewicht in solcher Tiefe angebunden, als das Wasser über dem Grunde geschöpft werden sollte. Liefs man nun das Instrument herab, so hing dasselbe an der Achse des Ventils und dieses verschlofs die obere Oeffnung des mit Luft gefüllten Cylinders. Sobald indessen das Gewicht sich auf den Grund auflegte, so wurde die obere Leine schlaff, die Feder öffnete das Ventil, und durch die Oeffnung, die stets nach oben gekehrt blieb, entwich die im Cylinder enthaltene Luft und derselbe füllte sich mit Wasser. Zog man endlich das Instrument wieder herauf, so hob die Leine sogleich das Ventil, verschlofs dadurch die Oeffnung und eine Vermengung des Inhalts mit den obern Wasserschichten konnte nicht eintreten.

Der Apparat, den Bleeckmann zur Messung des Schlickgehalts des Rheins (im Pannerdenschen Canal) benutzte, stimmte mit dem beschriebenen ungefähr überein, da jedoch das Wasser nicht in einer gewissen Höhe über dem Grunde, sondern in bestimmten Tiefen geschöpft werden sollte, so wurde das Ventil durch eine Leine geöffnet.*) In ähnlicher Art hat man zu gleichem Zweck auch vielfach gewöhnliche irdene Gefäfse mit engem Halse benutzt, die so beschwert wurden, dafs sie leer im Wasser herabsanken. Sobald sie die beabsichtigte Tiefe erreicht haben, wird der besonders vorgerichtete Verschlufs der Mündung durch eine zweite Leine entfernt, und sie füllen sich alsdann mit dem Wasser dieser Schicht. Eine Vermengung desselben mit dem der obern Schichten blieb dabei aber immer möglich.

Das Seewasser enthält im Allgemeinen keine erdigen Theilchen, welche dasselbe trüben, weil diese, wenn sie auch beim Abbruch der Ufer oder durch Ströme ihm zugeführt werden, meist in solcher Tiefe niederschlagen, dafs sie durch den Wellenschlag nicht wieder in Bewegung gesetzt und gehoben werden können. Anders verhält es sich jedoch in Buchten und solchen Meerestheilen, von denen in mäfsigen Tiefen grofse Flächen alten Landes liegen. Auf diese wirkt sowohl der Wellenschlag, als die Strömung der Ebbe und besonders der Fluth ein, und die erdigen Theilchen vermengen sich so stark mit dem Seewasser, dafs dieses durch sie vollständig getrübt wird. Sie schlagen nieder, sobald die Bewegung des Wassers aufhört oder sich mäfsigt, und sie sind es, welche die starken Verschlammungen der daselbst belegenen Häfen und das Anwachsen des Landes veranlassen. Die Kenntnifs der im Wasser schwebenden Theilchen ist daher für den Baumeister von grofser Wichtigkeit.

Mit dem zuerst beschriebenen Apparat habe ich wiederholentlich in der weiten Mündung des Jade-Busens vor dem Kriegshafen während voller Fluthperioden von Stunde zu Stunde und zwar theils an der Oberfläche und theils 6 Fufs über dem Boden Wasser geschöpft. Die Tiefe maafs an dieser Stelle bei Niedrigwasser etwa 30 Fufs. Zunächst versuchte ich, den

*) Tijdeschrift van het koninklijk Instituut van Ingenieurs 1870—1871. pag. 89.

Schlickgehalt aus dem specifischen Gewicht des Wassers zu bestimmen, doch gelangte ich dabei zu keinen brauchbaren Resultaten, weil die Erdmassen zu klein waren. Es mufste demnach das gewöhnliche Verfahren gewählt werden, wobei das Wasser filtrirt und der im Filter bleibende Rückstand gewogen wird. Doch auch hierbei war grofse Vorsicht und Sorgfalt nothwendig.

Die aufgebrachten und in Flaschen gefüllten Proben hielten zwischen 10 und 25 Cubikzoll, ihr Rauminhalt wurde, nachdem ihr specifisches Gewicht ermittelt war, durch Abwägen bestimmt, und es darf kaum erwähnt werden, dafs durch starkes Schütteln vor dem Umfüllen jedesmal dafür gesorgt wurde, dafs das Wasser gleichmäfsig und zwar in demselben Maafse, wie beim Schöpfen, mit den erdigen Theilchen sich vermengte.

Die Filter, die aus demselben Papiere sämmtlich in gleicher Gröfse ausgeschnitten waren, wurden vor dem Gebrauch in lufttrocknem Zustande einzeln gewogen. Da es jedoch auf eine sehr scharfe Wiegung ankam, indem die später in den Filtern zurückbleibende Erde nie mehr, als 30, und oft sogar nur 10 Milligramme wog, so durfte nicht unbeachtet bleiben, dafs die Filter schon während des Wiegens wieder einige Feuchtigkeit aus der Luft anziehn. Um dieses zu erkennen, wurden sie zweimal gewogen und zwar das zweite Mal in umgekehrter Reihenfolge, so dafs die arithmetischen Mittel aus beiden Abwägungen jedes Filters die Gewichte von allen in einem nahe gleich trocknen Zustande darstellten. Um indessen zu erkennen, ob dieselben Filter beim spätern Wiegen, während die erdigen Theilchen sich schon darin befinden, denselben Grad von Trockenheit angenommen haben, und ob vielleicht das Salz aus ihnen noch nicht vollständig ausgelaugt ist, so wurden jedesmal noch 2 und oft sogar 3 Filter von derselben Art hinzugefügt und gleichmäfsig zwischen die übrigen vertheilt. Sie wurden nicht zum Filtriren benutzt, vielmehr liefs ich nur das bereits filtrirte Seewasser hindurchfliefsen. Bei diesen wurde also das Gewicht durch hinzukommende erdige Theilchen nicht vermehrt, und sie sollten daher beim späten Wiegen genau dieselben Gewichte wieder zeigen, die sie anfangs gehabt hatten. War dieses nicht der Fall, so konnte man annehmen, dafs entweder die Auslaugung nicht vollständig erfolgt, oder dafs der hygroskopische

Zustand der Luft gegenwärtig ein andrer, als das erste Mal, wäre, und bei der ganz übereinstimmenden Behandlung aller Filter durfte vorausgesetzt werden, dafs wenn die letztern sämmtlich gleiche Differenzen gegen die erste Wägung zeigten, dafs alsdann auch die übrigen Filter dieselbe Veränderung erfahren hatten. Die später gefundenen Gewichte der mit Erde gefüllten Filter konnten also hiernach berichtigt werden. Die Unterschiede waren jedesmal überaus geringfügig.

Nach Beendigung der Filtration wurden alle Filter unter sorgfältiger Beachtung ihrer Reihenfolge (da auffällige Bezeichnungen daran nicht füglich anzubringen waren) vorsichtig zusammengelegt, damit der daran haftende Schlick nicht etwa entweichen möchte, und nunmehr wurden sie in einem geräumigen Glasgefäfs mit destillirtem Wasser übergossen. Letzteres wurde nach einer Stunde mittelst eines Hebers abgezogen und durch frisches ersetzt, und dieses geschah so oft, bis das abfliefsende Wasser beim Verdampfen in einem Löffel keinen Rückstand übrig liefs, also von Salz frei war.

Nunmehr wurden die Filter in einem kupfernen Gefäfs getrocknet, welches durch Wasserdämpfe erwärmt, keine höhere Temperatur als die des siedenden Wassers annehmen konnte. Endlich wurden die Filter wieder zweimal und zwar das zweite Mal in umgekehrter Reihenfolge gewogen, und dadurch ergaben die Differenzen gegen die frühern Gewichte, die Gewichte der in den Filtern aufgefangenen Schlickmassen.

Von den Gewichten mufste endlich zum Rauminhalt übergegangen werden, weil es darauf ankam, die Höhe der Aufschlickung zu ermitteln, die im Laufe eines Jahres erfolgen konnte. Dieser Uebergang erforderte eine gewisse Voraussetzung über die Consistenz des abgelagerten Schlicks. Derselbe zeigt nämlich im natürlichen Zustande sehr verschiedenartige Beimengungen von Wasser. Seine obern Schichten sind dünnflüfsig, weiter abwärts werden sie dichter und fester und nehmen in der Tiefe sogar eine sehr grofse Härte an. Mit Rücksicht auf den Zweck der Untersuchung schien es angemessen, eine breiartige Consistenz zum Grunde zu legen, derjenigen gleich, welche der Töpfer beim Verarbeiten des Thons wählt. Es ergab sich aus mehrfach wiederholten Messungen, dafs 1 Gramm lufttrockner

Schlick, der also denselben Grad der Trockenheit, wie die Filter beim Wiegen hatte, durch angemeſsnen Zusatz von filtrirtem Seewasser in solchem breiartigen Zustande ein Volum von 0,05263 Rheinländischen Cubikzollen einnimmt.

In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate dieser Untersuchung angegeben. Das in den verschiedenen Stunden der ganzen Fluthperiode sowol in der Oberfläche, als 6 Fuſs über dem Grunde geschöpfte Seewasser enthält diejenige Quantität erdiger Theilchen, welche die Tabelle angiebt. Diese Zahlen bezeichnen das Raum-Verhältniſs derselben, wenn sie jene breiartige Consistenz angenommen haben, zum Volum der Wassermasse, worin sie schwebten. Diese Zahlen geben daher auch unmittelbar die Höhen des Niederschlages an, der aus einer Wasserschicht von 1 Fuſs Höhe sich abscheidet, während die vollständige Klärung erfolgt, und zwar sind die Höhen in derselben Maaſs-Einheit, also in Fuſsen ausgedrückt.

Zeit.	Schlickgehalt	
	in der Oberfläche.	6 Fuſs üb. d. Grunde.
Nierigwasser . . .	0,00014	0,00016
1 Stunde Fluth . .	0,00019	0,00023
2 Stunden „ . .	0,00019	0,00026
3 „ „ . .	0,00015	0,00024
4 „ „ . .	0,00012	0,00020
5 „ „ . .	0,00011	0,00016
Hochwasser . . .	0,00010	0,00013
1 Stunde Ebbe . .	0,00010	0,00012
2 Stunden „ . .	0,00010	0,00012
3 „ „ . .	0,00010	0,00012
4 „ „ . .	0,00012	0,00012
5 „ „ . .	0,00013	0,00013
Niedrigwasser . . .	0,00014	0,00016

Der Schlickgehalt ist sonach in der Nähe des Grundes um den fünften bis dritten Theil gröſser, als an der Oberfläche. Während der Fluth ist er gröſser, als während der Ebbe, und sein Maximum erreicht er in den ersten Stunden der Fluth, wogegen er bald nach dem Hochwasser den kleinsten Werth

annimmt. Letzteres rührt ohne Zweifel davon her, dafs die Wattgründe im Jade-Busen wegen der daselbst statt findenden schwächern Bewegung nicht nur weniger angegriffen werden, sondern sogar mit einer dünnen Lage des im Wasser schwebenden Schlicks sich überdecken, wodurch dieses etwas reiner wird.

Zwei Reihen ähnlicher Messungen, die Lentz in Cuxhaven und zwar im Hafen selbst bei verschiedenen Winden und an solchen Stellen anstellte, durch welche das Wasser aus dem Spülbassin abflofs oder letzteres wieder füllte, schliefsen sich annähernd an die vorstehenden an. Bei Nord-Ostwind war der Schlickgehalt des in der Oberfläche geschöpften Wassers während des niedrigsten Wassers am gröfsten. Zwei Fufs über dem Grunde zeigte sich aber das Maximum im Anfange der Fluth, und auffallender Weise blieb dieses Maximum viel kleiner, als jenes, wiewohl in den andern Messungen der Schlickgehalt in der Nähe des Grundes gröfser befunden wurde, als in der Oberfläche. Bei Süd-Westwind, der keine Wellenbewegung vor dem Hafen veranlafst, war der Schlickgehalt im Allgemeinen wieder im Anfange der Fluth am gröfsten, doch zeigen sich in dieser Reihe sowol für das an der Oberfläche, wie 2 Fufs über dem Grunde geschöpfte Wasser noch viel gröfsere Anomalien, als in der ersten Reihe. Der Schlickgehalt war aber kaum halb so grofs, als in dem bei Nord-Westwind geschöpften Wasser.*)

Aehnliche Resultate haben sich auch für die untere Elbe weiter aufwärts aus den Untersuchungen von Hübbe ergeben**), die sich auf ausgedehntere Messungen beziehn und gröfsere Verschiedenheiten in den verschiedenen Epochen nachweisen.

Bleeckmann wählte zur Ermittelung der erdigen Stoffe, welche der Rhein durch den Pannerdenschen Canal führt, ein andres Verfahren.***) Er schöpfte mit dem oben beschriebenen Apparat eine bedeutend gröfsere Wassermenge, nämlich 4,285 Liter oder nahe 4 Quart. Um aber diese ganze Masse nicht

---

*) Die künstliche Spülung der Seehäfen, in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. Jahrgang XVIII. 1868. Seite 35.

**) Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlick's. In der Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang X. Seite 492 ff.

***) Tijdschrift van het koninklijk Instituut van Ingenieurs. 1870—1971. pag. 89.

filtriren zu dürfen, gofs er sie in ein Blechgefäfs, dafs oben cylindrisch, unten aber conisch mit sehr steil abfallenden Wänden geformt, und an dessen untere Oeffnung eine 4 Linien weite im Boden geschlofsne Glasröhre angeschroben war. Während das Wasser 1 bis 2 Tage hierin stand, sammelte sich der gröfste Theil des darin schwebenden Schlicks in der Glasröhre, aber die feinsten Stoffe hatten sich dennoch nicht abgeschieden. Um diese zu messen, wurde ein gewisser kleiner Theil dieses Wassers filtrirt, der Rückstand gewogen und dadurch die ganze noch schwebende Schlickmasse bestimmt, deren Gewicht zu der in der Röhre aufgefangenen addirt, die gleichfalls filtrirt und gewogen wurde, den ganzen erdigen Gehalt des geschöpften Wassers ergab. Das Auslaugen war bei dieser Operation entbehrlich, da das Wasser des Rheins kein Salz enthält.

Meine Messungen, deren Resultate vorstehend angeführt sind, wurden im Spätherbst 1855 bei ziemlich ruhiger Witterung während schwacher südlicher und östlicher Winde angestellt, wobei also das Wasser im Jade-Busen vergleichungsweise zu dem der Nordsee stärker bewegt war, als bei nördlichen Winden.

Es mufs noch angeführt werden, dafs ich zur bequemern Fortsetzung meiner Beobachtungen und um das mühsame Filtriren und Wägen zu vermeiden, einen Apparat vorrichtete, mittelst dessen der Schlickgehalt des Wassers sehr leicht, wenn auch nur annähernd richtig bestimmt werden konnte. Ich suchte nämlich aus einer grofsen Anzahl cylindrischer kleiner Flaschen von reinem weifsen Glase achtzehn Stück aus, welche gleichen Durchmesser (nahe von 3 Zoll) hatten. Sechszehn derselben füllte ich mit Mischungen von filtrirtem Seewasser und sehr feinem durch Niederschlag gewonnenen Schlick an. Das Raumverhältnifs des letztern nach den obigen Voraussetzungen zum Wasser betrug in den einzelnen Flaschen 0,00005 — 0,00010 — 0,00015 u. s. w. Die Flaschen wurden aber nicht vollständig, sondern nur zwei Drittel ihres Inhaltes angefüllt, damit sie vor dem jedesmaligen Gebrauch stark geschüttelt werden konnten und ihr Inhalt die entsprechende Trübung vollständig annahm. Sie wurden hierauf hermetisch verschlossen. Die beiden letzten Flaschen dienten zur Aufnahme desjenigen Wassers, dessen Schlickgehalt ermittelt werden sollte. Der Unterschied in der

Trübung ist bei den geringen Abstufungen der Zusätze zwar nicht auffallend, läfst sich jedoch, wenn man bei hinreichend starker Beleuchtung nach dahinter befindlichen Gegenständen hindurchsieht, sicher erkennen, und so bietet dieser Apparat ein bequemeres Mittel, um aus der Trübung des Wassers auf den Schlickgehalt zu schliefsen.

Die hiermit angestellten Versuche ergaben, dafs auch bei westlichen Winden der stärkste Schlickgehalt im Anfange der Fluth vorkommt. Nach einer Messung stellte derselbe sich bis auf 0,00035.

Aus diesen Resultaten, verbunden mit dem bekannten Steigen des Wassers in jeder Stunde der Fluth, kann man leicht die Höhe des Niederschlages berechnen, der sich im Jade-Busen oder in einem damit in Verbindung stehenden Bassin (also etwa in einem Vorhafen) bilden würde, falls das Wasser darin sich vollständig klärte, so dafs es bei der Ebbe ganz rein abfliefst. Je nachdem man den Schlickgehalt des an der Oberfläche oder des über dem Boden geschöpften Wassers zum Grunde legt, ergiebt sich hieraus, dafs jede Fluth eine Schicht von 0,00187 oder 0,00264 Fufs, dafs also die 705 Fluthen in einem Jahre Schichten von 1,32 oder 1,86 Fufs Höhe bilden würden. In der Wirklichkeit ist indessen selbst in einem geschützten Bassin eine so starke Verflachung nicht zu besorgen, da eines Theils die Zwischenzeit zu kurz ist, um die vollständige Klärung zu bewirken, und andern Theils auch die Strömungen und die einlaufenden Wellen das Wasser nicht zur vollen Ruhe gelangen lassen. In dem weiten Busen der Jade, wo die starke Bewegung selten aufhört, ist der Niederschlag viel geringer, wie dieses auch nicht anders sein kann, da nach denselben Beobachtungen grofse Schlickmassen bei der Ebbe wieder herausgeführt werden.

Hierbei wäre noch zu erwähnen, dafs der trockne Schlick an der Jade nach der Analyse des verstorbenen Dr. R. Hagen die nachstehenden Bestandtheile, und zwar in Procenten des Gewichtes ausgedrückt, enthält:

65,2	Kieselerde
4,2	Thonerde
6,9	Eisen- und Mangan-Oxyd
3,5	Kalkerde

1,3 Bittererde
1,4 Kali
1,5 Natron
1,4 Chlor
14,3 Wasser, Kohlensäure und organische Substanzen.

Bei Betrachtung der eigenthümlichen Erscheinungen, die sich am Meere zeigen, mufs endlich noch des Einflusses gedacht werden, den die chemische Zusammensetzung des Seewassers auf die Pflanzen- und Thierwelt ausübt, und dieses um so mehr, als beim Uferschutz und beim Hafenbau beide von Bedeutung sind.

Die Vegetation am Meeresstrande ist wesentlich verschieden von derjenigen, die sich an den Ufern der Ströme im Binnenlande vorfindet. Soweit die Wellen beim Sturm auflaufen, gedeiht kein Weidengebüsch, doch finden sich Gräser und Kräuter vor, die man landeinwärts nur vereinzelt wachsen sieht, und welche zur Sicherung und weitern Ausdehnung der Sandablagerungen mit grofsem Nutzen cultivirt werden können. Bei Gelegenheit des Dünenbaues wird hiervon ausführlicher die Rede sein.

Unter den Thieren, die sich in der See vorfinden, wären hier einige Arten von Muscheln zu erwähnen, welche in den Fugen der Steinschüttungen so wie auch der Abpflasterung sich ansetzen und dieselben oft so vollständig füllen, dafs durch sie ein sehr inniger Schlufs der Oberfläche dargestellt wird, und die Steine alsdann so sicher und fest gelagert sind, dafs sie von den Wellen nicht mehr bewegt werden können.

Ein andres Thier, der Bohrwurm, ist dagegen den Bauwerken höchst verderblich und zerstört das Holz so schnell und so vollständig, dafs man dasselbe an manchen Orten gar nicht anwenden darf, oder wo dieses doch nöthig ist, es vollständig mit andern Stoffen verkleiden mufs. Unter der Benennung Bohrwurm versteht man zwei einander ziemlich ähnliche Thierarten, teredo navalis und limnoria terebrans. Erstere wird am meisten gefürchtet, und kommt in der Nordsee, in dem Atlantischen Ocean und dem Mittelländischen Meer vorzugsweise vor, letztere dagegen findet sich mehr an der Englischen Küste. Auffallend ist es, dafs der Wurm in früherer Zeit in Europa

unbekannt war, in Holland, wo er seit hundert Jahren periodisch die gröfsten Zerstörungen verursacht hat, zeigte er sich zuerst im Jahre 1731. Vielleicht wurde er durch Schiffe eingeführt, denn in diesen und namentlich wenn sie aus südlichen Häfen zurückkehrten, fand man schon früher sehr häufig den Wurm vor, woher das Bekleiden der Schiffe mit Kupfer auch vor dieser Zeit schon üblich war. Das Verkupfern hat aber vorzugsweise den Zweck, das Schiff vor dem Wurm zu schützen.

Der Bohrwurm ist, wenn er ausgewachsen ist, etwa 6 Zoll lang und so dick, wie eine starke Federpose. Er ist von weifser Farbe, ganz weich und erscheint wie eine schleimige Masse, sein Kopf dagegen endet in eine hornartige, sehr feste und scharfe Schale, die in eine breite gekrümmte Schneide, ähnlich dem gewöhnlichen Löffelbohrer ausläuft. Sehr auffallend ist es, dafs man in der äufsern Oberfläche des Holzes, in dem er sich aufhält, nie Oeffnungen bemerkt, die seiner Dicke entsprechen, es befinden sich darin vielmehr nur einige sehr feine Löcher, als wenn sie mit einer Stecknadel eingestochen wären. Er mufs also im Holze selbst auswachsen. Im Mittelländischen Meere nimmt er viel gröfsere Dimensionen, als an der Nordsee an, so wurde mir in Ciotat erzählt, dafs man in den dortigen Hellingen, die eben wegen des Wurmes alle zwei Jahre erneut werden müssen, häufig Würmer von 6 Fufs Länge und in der Stärke eines Daumens vorfindet.

Nach den Wahrnehmungen an der Jade folgen die Bohrlöcher gemeinhin der Holzfaser, sie sind bis 3 Linien weit und mit einer sehr glatten und festen Kalkschale überzogen, so dafs sie wie glasirt erscheinen. Sie setzen sich mehrere Fufs tief unter das Niedrigwasser fort, gehn aber nie bis zur gewöhnlichen Fluthhöhe herauf. In Holland hat man bemerkt, dafs bis zu derjenigen Höhe, zu der der Klaiboden heraufreicht, das Holz stets unversehrt bleibt. Diese Löcher befinden sich in stark angegriffenem Holze parallel neben einander und oft so nahe, dafs nur die Kalkschale die Zwischenwand bildet. Eine Bootstreppe an der vorspringenden Ufer-Ecke an der Jade wurde, nachdem sie einen Sommer hindurch benutzt war, im Herbst von den Wellen zerschlagen. Das Holz der Wangen hatte ganz das Ansehn der Zellen eines Bienenstocks. Dicht neben einander

lagen die Oeffnungen, und die Zwischenwände waren auf das geringste Maafs reducirt. In gleicher Weise wurden auch die Köpfe der Pfähle angegriffen, welche durch die Stacken oder Buhnen geschlagen waren, die vom Oldenburgischen Ufer den Strom entfernen sollten. Das Holz war so zerstört, dafs diese Köpfe von etwa 6 Zoll Stärke durch die Wellen abgebrochen wurden, und es machte hierbei gar keinen Unterschied, ob Kiefern, oder Eichen, Birken oder irgend eine andre Holzart angewendet war.

Am stärksten waren die Zerstörungen immer da, wo eine recht kräftige Strömung reinen Seewassers vorbeizog. An den Einfassungen der Siele, selbst an der Seeseite, konnte man keinen Wurm bemerken und bei Reparaturen zeigte sich deutlich, dafs er daselbst ganz fehlte. Das ausfliefsende süfse Binnenwasser verhinderte also sein Eindringen. Die Erfahrung hat aber auch hier gezeigt, dafs er periodisch übermäfsig sich verbreitet, und alsdann mehrere Jahre hindurch nur in geringerm Maafse sich zeigt. Welche besondere Umstände hierauf Einflufs haben, ist nicht bekannt.

In der Ostsee kommt der Wurm nur in der Nähe des Sundes vor, weil der Salzgehalt des Wassers für ihn zu geringe ist. Dieser Umstand ist für die Bauten an der Ostsee überaus vortheilhaft und gestattet hier einfache Holz-Constructionen, die man in der Nordsee und an andern Meeren nicht wählen darf. Wo der Wurm sich zeigt, mufs alles Holz, dessen Verwendung sich nicht umgehn läfst, mit Metall oder wenigstens mit Leder bekleidet werden. Die Benutzung von Kupferplatten, in gleicher Weise, wie bei den Schiffen, kommt bei Schleusenthoren, hölzernen Schlagschwellen und selbst bei Pfählen vielfach vor, noch häufiger werden dazu aber in den Niederlanden die sogenannten Spieker, das heifst kurze eiserne Nägel mit sehr grofsen flachen Köpfen verwendet, die man so dicht neben einander einschlägt, dafs die Köpfe sich gegenseitig überdecken und dafs sonach die Oberfläche des Holzes mit dem Wasser gar nicht in Berührung kommt. Die Versuche, das Holz mit Creosot oder Metall-Oxyden vor der Verwendung zu imprägniren, haben nach manchen Erfahrungen keinen dauernden Erfolg, wogegen

Forestier*) nachweist, dafs in Frankreich, wie in England, in den Niederlanden und in Belgien die creosotirten Hölzer nicht nur sehr lange dem Bohrwurm widerstehn, sondern durch diese Operation auch an Festigkeit gewinnen, wenn nur das Creosot in die Oberfläche überall eingedrungen ist. Um dieses zu erreichen, empfiehlt derselbe das Holz (meist Kieferholz) nur ganz trocken zu verwenden und es vorher stark zu erwärmen, ehe man die Creosot-Lösung darüber bringt. — Das Holz einer besondern Eiche, Eucalyptus genannt, die im westlichen Australien wächst, soll vom Seewurm nicht angegriffen werden. Dieses Holz soll auch von der weifsen Ameise, die unter den Tropen auf dem Lande eben so zerstörend wirkt, wie der Bohrwurm im Wasser, nicht berührt werden**).

Schliefslich wäre noch zu bemerken, dafs der Seewurm nicht nur Holz, sondern auch manche Steine, wie Kalk und weichern Sandstein, durchbohrt, doch unterscheiden die Bohrlöcher in solchen sich dadurch, dafs sie rauhe Oberfläche haben und nicht mit Glasur überzogen sind.

§ 13.

Veränderung der Meeres-Ufer.

Indem von der ursprünglichen Bildung der Meeres-Ufer abgesehn wird, kann hier nur von den Veränderungen die Rede sein, die gegenwärtig noch in gröfserm oder geringerm Maafse daran wahrgenommen werden. Die Veranlassung zur dauernden Umgestaltung giebt ohne Zweifel vorzugsweise die Bewegung des Meeres, die durch Wellenschlag, Fluth und Ebbe und durch Strömungen verursacht wird. Aufserdem ist die unmittelbare Wirkung heftiger Winde und noch mehr als diese, der Einflufs der Quellen auf sandige und thonige Ufer nicht zu verkennen. Man darf wohl annehmen, dafs gegenwärtig die Veränderungen minder bedeutend geworden sind, als sie vor Jahrtausenden waren, insofern die weniger festen Gebirgsarten, die früher das Meer begrenzten, bereits zerstört sind, und die Vorgebirge und

*) Annales des ponts et chaussées 1868 I p. 307.

**) The Civil Engineer and Architects Journal. 1862. Pag. 248.

vortretenden Ufer nunmehr auf besonders feste Formationen treffen, die dem Angriff gröſsern Widerstand entgegensetzen, und zwischen denen die Uferlinien sich bereits den allgemeinen Verhältnissen entsprechend ausgebildet haben. Nichts desto weniger sind jene Festpunkte eben so wenig wie diese Zwischenlinien unveränderlich, vielmehr treten in längern oder kürzern Perioden in beiden noch dauernd Veränderungen ein.

Im Allgemeinen beziehn sich diese Veränderungen nur auf Zerstörung oder auf Abbruch der Ufer. Sowol über, als unter Wasser stürzt jede Masse, die sich vom Ufer löst, in die Tiefe herab, und nur unter besondern Umständen treten einzelne Theile derselben daraus wieder hervor. Jedes Ufer, wenn es auch aus der festesten Gebirgsart besteht, ist am offenen Meere der Zerstörung ausgesetzt. An den nach Westen belegenen Küsten von England und Schottland zeigt der Granit eine auffallende Glätte der Oberfläche. Die anschlagenden Wellen, vielleicht auch Kiesel und andere Gegenstände haben vorzugsweise die kleinern vortretenden Ecken angegriffen und im Lauf der Zeit beseitigt. Aber es lösen sich in Folge der Verwitterung oder aus sonstigen Ursachen zuweilen gröſsere Massen und alsdann bilden sich neue Angriffspunkte. Die verschiedene Festigkeit des Gesteins giebt in manchen Fällen zu eigenthümlichen Erscheinungen Veranlassung. Wenn das Meer bis zu einer besonders festen Gebirgsmasse vorgedrungen ist, und diese lange Zeit hindurch seinen Angriffen widersteht, so bricht es die daneben befindlichen weichern Theile ab. So sah man vor wenig Jahren auf der nördlichen Ecke von Helgoland verschiedene Säulen stehn, von denen eine besonders auffiel, weil sie im obern Theile viel breiter war, als unten. Auch an der westlichen Küste von Portugal und den davor liegenden Inseln stehn mehrfach isolirte Felsen vor den am weitesten vortretenden Ecken. Zuweilen geschieht es aber, daſs nur der untere Theil des dahinter liegenden Gebirges abgebrochen wird, während die Decke, die dem Angriff der Wellen entzogen ist, über dem freien Zwischenraum sich unversehrt erhält. Solcher natürlichen Felsthore sah man mehrere auf der Westseite von Helgoland.

Anders verhält es sich mit weichern Gebirgsarten. Namentlich die Kreide, wie sie an beiden Seiten des Canals zwischen Eng-

land und Frankreich ansteht, auch an der Preufsischen Küste vorkommt, bricht in viel stärkerm Maafse ab, und noch mehr findet dieses bei aufgeschwemmtem thonigen Boden statt, selbst wenn derselbe grofse Festigkeit besitzt, auch vielleicht zahllose Granitgeschiebe darin vorkommen, die beim Abbruch herabstürzen und alsdann eine Art Steinschüttung vor dem Ufer bilden. Wo Veränderungen dieser Art noch erfolgen, und der Abbruch der Ufer in kürzern Perioden, etwa in einem Menschenalter, sich auffallend bemerklich macht, da darf man mit Sicherheit annehmen, dafs die Ufer früher viel weiter vortraten, als gegenwärtig, und dafs durch ihr Zurückweichen das Meer oder die Bucht, die sie begrenzen, um Vieles erweitert und dadurch wieder die Ursache der Zerstörung um so mehr verstärkt ist. Eine weitere Schlufsfolge auf die Verhältnisse früherer Perioden gewinnt hierdurch an Wahrscheinlichkeit, dafs nämlich manche Binnenmeere einst viel geringere Ausdehnung hatten und der zerstörende Charakter, den sie jetzt zeigen, ihnen ganz fehlte. Der Canal zwischen Frankreich und England nimmt unzweifelhaft auch gegenwärtig noch an Breite zu, indem von den steilen Uferrändern, die dem Angriff des Meers vorzugsweise ausgesetzt sind, oft grofse Theile sich lösen, und immer neue Feuerstein-Massen, die in der Kreide eingesprengt waren, den Kies ersetzen, der längs den Küsten von Westen nach Osten treibt. Wenn beide Ufer einst weiter vortraten, so standen sie sich auch näher, vielleicht liefsen sie zwischen sich nur einen schmalen Meeresarm, durch den die Fluth und Ebbe aus dem Atlantischen Ocean nur in geringem Maafse, oder gar nicht hindurch treten konnte. Die Nordsee mufste damals in ihrem südlichen Theil ganz andern Verhältnissen unterliegen, als gegenwärtig, und die darin einmündenden Ströme konnten bei der geringern Bewegung des Wassers nicht nur Sand und Kies, sondern auch die thonigen Theilchen absetzen und den Marschboden bilden, der bei sehr niedriger Ebbe im Norden der Insel Wangeroog noch zu Tage tritt, und der mit den ausgedehnten Wattgründen vor den Niederländischen, Oldenburgischen, Preufsischen und Dänischen Küsten bis zum Kattegatt zusammenhängt.

Am Atlantischen Meer im südlichen England, in Frankreich, im Norden von Spanien und in Portugal giebt es kein Kreide-Ufer, wie im Canal. Ueberall zeigen die vortretenden Ecken,

zwischen denen sich häufig Sand- und Kies-Ablagerungen hinziehn, nur festeres Gestein. Der aufgeschwemmte Thonboden bildet aber hier eben so wenig wie an der Nordsee hohe Ufer. Dieses zeigt sich nur an der Ostsee. Vielleicht dürfte man aus der Beschaffenheit der Ufer auf die Zeit der Entstehung der davor liegenden Meere schliefsen. Das Meer, welches viele Tausende von Jahren hindurch seine Ufer angegriffen hat, hat sich bereits so sehr erweitert, dafs es überall an festere Grenzpunkte gelangt ist, die ihm in höherm Maafse Widerstand leisten. Wo dagegen die Ufer aus Gebirgsarten bestehn, die sichtlich noch abbrechen und zurückweichen, da dürfte man wohl annehmen, dass der Kampf erst in spätern Zeiten begann, und das Meer in jenen frühen Perioden noch nicht, wie gegenwärtig, zerstörend wirkte, also seine Ausdehnung geringer und es vielleicht durch zwischen liegende Landstriche noch in kleinere Becken getheilt war.

Die Veränderungen, die man an der Ostsee und in geringerm Maafse auch an der Nordsee noch bemerkt, vergröfsern fortdauernd die Wasserfläche in ihrer allgemeinen Umgrenzung. Das von den Ufern abbrechende Material löst sich, während es von den Wellen hin- und hergeschleudert wird, grofsentheils in so feine Körnchen auf, dafs dieselben im bewegten Wasser schweben und alsdann durch den Rückstrom in die Tiefe herabgeführt werden, wo der Wellenschlag sie nicht weiter berührt. Die Feuersteinknollen, die mit der abbrechenden Kreide herabfallen, und eben so auch die kleinern Geschiebe und der Kies bleiben in der Nähe des Ufers. Sie sind ein Spiel der Wellen und schleifen sich immer mehr bei dieser Bewegung ab. So wird die Masse jedes Steinchens nach und nach immer kleiner, und der Abgang ist feiner Staub, der in die Tiefe des Meeres versinkt. Sehr auffallend ist die Verschiedenheit in der Gröfse des Kieses, die in der Richtung seiner Bewegung sich oft deutlich zu erkennen giebt, was man an manchen Uferstellen leicht bemerkt, wenn man auf längere Strecken den Strand verfolgt. Westlich von Boulogne ist der Kies, aus Feuersteinstücken bestehend, vorherrschend, doch ist er hier schon minder grob, als bei Dieppe. Bei Calais werden die Steinchen noch kleiner und es finden sich schon grofse Massen Sand dazwischen. Sie verschwinden beinahe ganz bei Dünkirchen und weiterhin sieht man nur Sandablagerungen.

Ganz dieselbe Erscheinung wiederholt sich auch auf der Insel Rügen. Unter dem Vorgebirge Arcona besteht der schmale Strand wieder nur aus Feuersteinen, die auch hier in der Kreide in grofser Masse schichtenweise eingesprengt waren, und bei dem Einsturz des Ufers herabgefallen sind. In südlicher Richtung tritt bald der Sand auf, und wo die Schaabe oder die schmale Landzunge beginnt, welche die Meeresbucht, die Tromper Wiek genannt, von den Binnenseen trennt, findet man nur selten noch Feuersteine, und zwar bereits vollständig abgerundete.

Eine sehr auffallende Ablagerung läfst indessen erkennen, dass hier die Verhältnisse in früherer Zeit wesentlich verschieden waren. Auf der erwähnten Landzunge erstreckt sich nämlich in ihrer ganzen Ausdehnung, also in der Länge von etwa einer und einer halben Deutschen Meile und zwar vielfach hoch mit Sand überweht, ein Rücken von Feuersteinen, der sehr regelmäfsig gestaltet etwa 8 Fufs über den mittlern Stand der See sich erhebt, und stellenweise bis 30 Ruthen breit ist. Er wird zuerst sichtbar bei Juliusruh, wo das hohe Ufer der Halbinsel Wittow abfällt, etwa 300 Ruthen nördlich vom Dorfe Breege. Hier liegt er 50 Ruthen hinter dem jetzigen Strande und zieht sich 800 Ruthen parallel zu demselben auf der Schaabe fort. Alsdann spaltet er sich. Der Arm, der der See zunächst liegt, behält die parallele Richtung zum gegenwärtigen Strande und den erwähnten Abstand von demselben bei, er hat aber eine weit geringere Breite, die oft nur wenige Ruthen mifst. Etwa 300 Ruthen vom Theilungspunkte entfernt, verschwindet er. Der andre Arm dagegen, gleichfalls zum Strande noch nahe parallel, entfernt sich von demselben etwa auf 100 Ruthen, und kann, obwohl vielfach mit hohen Dünen überdeckt, noch drei Viertel Meilen weit bis gegen das Dorf Glowe, das schon auf der Halbinsel Jasmund liegt, verfolgt werden.

Ueber die Entstehung dieser Kiesrücken kann man nicht zweifelhaft sein. Sie sind nichts Andres, als Seestrand früherer Perioden. Wenn man längs dem steilen Kreide-Ufer der Halbinsel Jasmund geht, sieht man die Feuersteine eben so rein ausgewaschen und in gleicher Weise gelagert, nur sind sie hier gröfser und weniger abgeschliffen, also befinden sie sich noch näher an der Stelle, wo sie mit der Kreide herabstürzten. Jene Rücken

auf der Schaabe sind daher von den frühern Kreidegebirgen, durch deren Zerstörung der Feuerstein sich löste, weiter entfernt. Diese Kreidegebirge bestehen zum Theil noch und bilden das Vorgebirge Arcona, das sich 150 Fuss über das Meer erhebt. Nordwestlich von demselben setzt sich die Kreidebildung fort, doch nach Süden, also in der Richtung, in der die Steine sich bewegten, lehnt sich an dieselbe unmittelbar ein nahe eben so hohes aufgeschwemmtes Land an. Die Zerstörung dieses Vorgebirges setzt sich noch dauernd fort und nach wenigen Jahren kann man daran die eingetretenen Veränderungen schon bemerken, aber die Menge der dabei gelösten Feuersteine ist gegenwärtig so unbedeutend, daſs in geringer Entfernung sie nur noch vereinzelt auf dem Strande vorkommen und derselbe weiterhin nur aus feinem Seesande besteht. Aus der Steinmasse der erwähnten Rücken kann man auf die Ausdehnung der nach und nach herabgestürzten Ufer schlieſsen. Diese Steine wurden in der frühern Periode, als der hintere Rücken sich bildete, bis zur Halbinsel Jasmund geführt, alsdann bildete sich in dem südöstlichen Theile eine Sand-Ablagerung. Doch nochmals traten die Kiesel überwiegend wieder auf, und der zuerst erwähnte Arm war ein neuerer Strand, der jedoch nicht mehr die Ausdehnung des frühern annahm. In neuster Zeit haben sich groſse Sandmassen vor die alten Ufer der Schaabe vorgeschoben.

Aehnliche Erscheinungen, wenn auch weniger auffallend und weniger regelmässig, wiederholen sich auf der sogenannten Schmalen Heide oder der sandigen, bedeutend breitern Landzunge, welche die Halbinsel Jasmund mit der südwärts belegenen Halbinsel Mönchgut verbindet. Man bemerkt auch hier Kiesrücken, die sich wellenförmig erheben, von denen jedoch eine groſse Anzahl hinter einander liegt. Sie lassen vermuthen, daſs die Strandlinien sich hier nicht so lange erhielten, daſs vielmehr immer neue Ablagerungen in kürzern Perioden das Ufer seewärts herausrückten.

Wenn in beiden Fällen vor diesen niedrigen Landzungen die Uferlinie nicht zurückgewichen, sondern im Gegentheil seewärts vorgedrungen ist, so macht diese Erscheinung keine Ausnahme von der obigen als allgemein gültig aufgestellten Regel über den Abbruch der See-Ufer, denn die Schaabe sowol, wie auch die

Schmale Heide liegen an den tief zurücktretenden Meeresbuchten, die Tromper Wiek und die Prorer Wiek genannt, also nicht an der offenen See. Es giebt aber noch eine andre Ursache, die selbst vor einem geraden Meeres-Ufer eine starke Ablagerung des gelösten Materials veranlassen kann. Dieses geschieht, wenn die Strömung, welche den Sand und Kies bis zu einer gewissen Stelle führt, daselbst aufhört. Fluth und Ebbe können allein ein solches bewirken. Schon Smeaton erklärt hierdurch das Entstehn der ausgedehnten Kiesbank Dungeness, westwärts von Dover, und die Verschüttung des ehemaligen Hafens Rye.

Bevor zur nähern Betrachtung des Fortschreitens des Sandes und Kieses übergegangen wird, mufs noch im Anschlufs an die festern Meeres-Ufer die auffallende Erscheinung betrachtet werden, die an den Küsten der Ostsee sich immer wiederholt, dafs nämlich die aus denselben herabstürzenden grofsen Granit-Blöcke dem Ufer keinen Schutz gewähren, vielmehr nach und nach und oft in wenigen Jahren spurlos verschwinden. Die Erklärung ist nach dem, was oben über die Wirkung der Wellen (§ 6) gesagt ist, sehr einfach. Der einzelne Block ruht nicht auf fester Unterlage, vielmehr auf Sand oder auf Thonboden. Der Druck, den die anrollende Welle auf ihn ausübt, setzt sich rings um ihn fort, trifft also auch sein leicht bewegliches Unterlager, woher Theile desselben gelöst werden. Dieselbe Wirkung äufsert aber auch das zurückfliefsende Wasser, und so sinkt der Stein nach und nach tiefer herab. Je höher er noch liegt, um so stärker ist die Wirkung der Wellen, aber selbst in der Tiefe von 20 und 30 Fufs hört diese noch nicht auf, und in solcher Weise verschwinden die Steine und über sie fort treffen die Wellen späterer Stürme ungeschwächt wieder den neuen Fufs des hohen Ufers. Wie schnell das Versinken grofser Steine erfolgt, die dem Angriff des Meers ganz blofsgestellt sind, zeigte sich einst beim Molenbau vor Pillau. Die für das Jahr 1828 bestimmte geringe Verlängerung der Südermole war beendigt, und da ohnfern des neuen Kopfes in der Richtung des im nächsten Jahr auszuführenden Baues eine Sandbank sich gebildet hatte, die nur wenige Fufs unter Wasser lag, so schien es angemessen, das noch vorräthige Material zur Sicherung dieser Bank zu benutzen., wodurch eine wesentliche Erleichterung der spätern Arbeit sich als

wahrscheinlich herausstellte. Die vorräthigen Faschinen dienten zur Bildung einer schwachen Unterlage, auf welche etwa 10 Schachtruthen Steine durchschnittlich von 2 Fuſs Durchmesser geworfen wurden. Schon nach kurzer Zeit war die so geschaffene Insel nicht mehr sichtbar, und als ich im nächsten Frühjahre sie suchte, konnten nur in der Tiefe von 24 Fuſs einzelne Steine mittelst langer Peilstangen noch bemerkt werden.

Die hohen und steilen Meeres-Ufer, die aus aufgeschwemmtem Boden und namentlich aus abwechselnden Thon- und Sand-Lagern bestehn, werden nicht allein von dem Wellenschlage, sondern auch von dem herausquellenden Wasser angegriffen. Groſse Erdmassen, oft mit Bäumen und Sträuchern bestanden, lösen sich über den abwärts geneigten Thonschichten, wenn diese vom Wasser erweicht werden, und stürzen bis zur ganzen Tiefe herab, oder finden schon auf ihrem Wege einen festen Halt, wobei sie m Zusammenhange bleiben und terrassenförmig auf dem steilen Ufer einen mit frischer Vegetation bedeckten Absatz bilden. Dergleichen Abrutschungen werden allein von den Quellen veranlaſst, und erfolgen auch später, wenn der Fuſs bereits gegen den Angriff der Wellen gesichert ist. In diesem Fall aber bildet sich über dem Fuſs nach und nach eine flachere Böschung, die endlich die vollständige Erhaltung derselben herbeiführt. Man entschlieſst sich zu einem Uferschutz gewöhnlich nur, wenn wichtige Bauwerke, wie Leuchtthürme, gesichert werden sollen. Der Verlust an Boden, der in einer kurzen Reihe von Jahren eintritt, steht mit den Kosten solcher Anlage in keinem Verhältniſs, und die Uferbesitzer unterlassen es daher, letztere darauf zu verwenden. Im Laufe der Zeit werden diese Verluste aber übermässig groſs. An manchen Stellen der westlichen Küste des Samlandes bricht das Ufer in jedem Jahre sehr stark ab, und es dürfte sich daher gewiſs rechtfertigen, diesem so groſsen Landverlust endlich eine Grenze zu setzen.

Ich gehe nunmehr zur Untersuchung über das Verhalten des Kieses und Sandes am Rande des Meeres über. Daſs der Kies, während er durch die Wellen hin- und hergeworfen wird, sich abschleift, abrundet oder abflacht und immer kleinere Dimensionen annimmt, ist bereits erwähnt worden. Ein Zerfallen desselben in eine Menge Sandkörnchen kommt indessen

wohl nur vor, wenn er aus einer weichern Gebirgsart besteht. Der feste Kies, wie etwa der Feuerstein, zerspringt zwar bei heftigem Aufstofsen leicht in mehrere Stücke, dieses geschieht indessen vorzugsweise doch nur, wenn er in unförmlichen und gröfsern Knollen vorkommt. Sobald er der Kugelform sich nähert und geringe Dimensionen angenommen hat, hört die weitere Zertheilung auf. Eine Umwandlung in Sand könnte daher nur noch in sofern stattfinden, als aus jedem Kiesstücke zuletzt ein einziges Sandkörnchen sich ausbildet, wie nach dem von Frisi angestellten Versuche*) auch bei weicherm Gestein geschieht. Die grofsen Sandmassen, die man am Meere wahrnimmt, lassen sich also in dieser Weise nicht erklären, und man kann nur annehmen, dafs sie entweder durch Ströme herbeigeführt wurden, oder aus dem Abbruch sandiger Meeres-Ufer sich ansammelten. Im aufgeschwemmten Boden pflegen Sandlager sehr häufig vorzukommen, wenn man auch von denjenigen Massen absieht, welche während der Stürme von der See aus heraufgetrieben werden und oft in grofser Höhe die Ufer überdecken.

Die niedrigen Ablagerungen von Sand oder Kies vor dem Ufer, die nur wenig über den Meeresspiegel vortreten und von höhern Wellen überspült werden, nennt man den Strand. Die Regelmäfsigkeit, in welcher derselbe sich ausbildet, ist überraschend. Als ich einst behufs des Dünenbaues den Strand der Frischen Nehrung im Königsberger Regierungsbezirk aufnahm, konnte ich ohnerachtet der geringen Breite, die durchschnittlich nur etwa 15 Ruthen maafs, dennoch sehr lange Linien von 1000 Ruthen, und in einem Falle sogar von 1300 Ruthen Länge darauf abstecken, und beim Auftragen der Messung stellte sich die Begrenzung des Wasserspiegels als eine überaus regelmäfsige und sanft gekrümmte Linie dar. Etwas Aehnliches wiederholt sich an allen Meeresküsten. Betrachtet man die Französischen Küsten-Charten, so bemerkt man dieselbe regelmäfsige Strandbildung sowol im Canal, als im Atlantischen und im Mittelländischen Meer. Einzelne Ausläufer der Gebirge treten in die See hinaus, und zwischen diesen zieht sich der sandige Strand in flachem, etwas concavem Bogen hin. Häufig schliefst sich

*) Im zweiten Theile dieses Handbuches § 8.

das Ufer nicht unmittelbar an den Stand an, derselbe besteht vielmehr, wie unsere Nehrungen, nur aus einem schmalen Landstreifen, hinter dem ein ausgedehnter Binnensee oder ein Haff liegt. Auch an der Küste des Mittelländischen Meers wiederholt sich diese Erscheinung vielfach. Cette liegt z. B. am Fufs eines isolirten hohen Kalkfelsens, der durch den Étang de Thau vom festen Lande geschieden ist. Dieser See erstreckt sich bis gegen Agde, wo das Gebirge wieder im Cap d'Agde weit in die See tritt. Zwischen diesen beiden Bergkuppen zieht sich nun in der Länge von $2\frac{1}{2}$ Deutschen Meilen die Landzunge hin, die wenig einwärts gekrümmt, nur etwa 200 Ruthen Breite hat. Noch schmaler ist die Landzunge, die auf der östlichen Seite von Cette die daselbst belegenen weniger breiten und tiefen Haffe begrenzt. Hinter den in der See liegenden ausgedehnten Felsbänken vor dem Etang d'Ingri tritt die Nehrung in weitem Bogen in die See vor, doch nimmt sie weiterhin vor dem Etang de Palavas wieder die einwärts gekehrte flache Krümmung an. An der Nordküste von Frankreich, neben dem Canal gestaltet sich vielfach die Erscheinung in sofern etwas anders, als der Strand in viel schärfern Krümmungen tiefe Buchten bildet. Die Ursache dieser Abweichung mufs man wohl in den starken Strömungen der Fluth und Ebbe suchen, die durch einzelne weit vortretende Gebirgs-Ecken unterbrochen, hinter sich eine kreisförmige Strömung gleich den Neeren oder Widerströmen hinter den Buhnen in den oberländischen Flüssen veranlassen.

Dafs Sand- und Kies-Ablagerungen schon in Folge des Wellenschlages sich gegen die See einigermaafsen regelmäfsig abgrenzen müssen, leuchtet ein, in sofern die etwa vortretenden Ecken einem besonders starken Angriff ausgesetzt sind, und daher bald verschwinden, während die vorhandenen kleinern Buchten dem Angriff sich am meisten entziehn, und demnach die hinein getriebenen Körnchen daselbst ungestörter liegen bleiben. Man mufs indessen noch gewisse Küstenströmungen voraussetzen, um die Entstehung und Erhaltung des Strandes und namentlich auch der schmalen Erdzungen oder der Nehrungen zu erklären, welche die tiefer einspringenden Buchten des Meeres abschliefsen. Ohne solche Strömung würde der Sand nahe an der Stelle, wo er sich befindet, liegen bleiben, und die überaus

gleichmäfsige Vertheilung desselben, die vor den Meeres-Ufern wirklich vorkommt, würde nicht eintreten können*).

Von den Erscheinungen, welche beim Auflaufen der Wellen auf den Strand sich zeigen, war schon in § 8 die Rede. Seine ganze Oberfläche ist dabei in Bewegung, soweit sie von der Welle überfluthet wird. Die Körnchen folgen der Richtung der Welle, und sobald das Wasser zurückläuft, reifst es sie wieder mit sich. Treffen die Wellen normal gegen das Ufer, so tritt jedes Körnchen ungefähr wieder an dieselbe Stelle zurück, die es früher inne hatte, doch dieses ist ein seltener Fall. Gemeinhin laufen die Wellen etwas schräge auf das Ufer auf, und alsdann setzen sie auch die Sand- und Kieskörnchen in schräger Richtung in Bewegung, so dafs sie längs dem Strande etwas vorrücken. Käme das auflaufende Wasser vollständig zur Ruhe, so würde es in derjenigen Richtung abfliefsen, in der das Gefälle am stärksten ist, also normal gegen die Strandlinie. Bei stärkerm Wellenschlage geschieht dieses aber nicht, man bemerkt vielmehr, dafs das Wasser, sobald es auf den Strand gelaufen ist, seine fortschreitende Bewegung in der Richtung des letztern noch beibehält, und dafs es diese beim Zurücklaufen gleichfalls verfolgt. So veranlafst schon ein mässiger Wellenschlag, der das Ufer nicht etwa ganz normal trifft, eine Strömung in der Richtung des Strandes und dieser folgen auch die Sand- und Kieskörnchen, indem sie zugleich abwechselnd immer auf- und abtreiben.

Wenn diese Strömung allein durch die Wellen veranlafst würde, so müfste sie nach der localen Richtung des Strandes bei gewissen Winden an nahe belegenen Stellen sehr verschieden ausfallen, auch wäre es unerklärlich, wie die grofsen Sandmassen herbeigeführt werden könnten, die zur Bildung der Nehrungen erforderlich waren. Wenn dagegen eine vorherrschende Küsten-

*) Auf den Nehrungen der Ostsee zeigt sich an einzelnen wenigen Stellen Diluvial-Boden, man mufs daher annehmen, dafs einige Inseln hier ursprünglich schon existirten und später durch Sandablagerungen des Meeres theils mit dem Festlande sich verbanden, theils aber sich nach und nach verlängerten. Ueber die Umgestaltung der Kurischen Nehrung hat Behrendt in der Schrift „Geologie des Kurischen Haffes“ sehr interessante Thatsachen zusammengestellt.

strömung, unabhängig vom Winde, obwohl zuweilen von diesem unterbrochen, besteht, so ist es ersichtlich, dafs dieser Strom durch die vortretenden Ufer-Ecken bedingt, den kürzesten, also den geraden Weg von einer derselben bis zu der andern verfolgt, und dafs er den Sand, den er herbeiführt, in dem ruhenden Wasser zur Seite absetzt. Man denke den Strand, der sich längs eines solchen Küstenstroms hinzieht, an einer Stelle unterbrochen. Wenn nun die Wellen den Strand treffen, so kommt die Oberfläche desselben in Bewegung und die Sandkörnchen, die auf ihrem hin und her gerichteten Wege im Allgemeinen dem Strom folgen, fallen in die Tiefe hinab, sobald sie das Ende des Strandes erreichen. Hier bleiben sie liegen, denn in gröfserer Tiefe trifft sie weniger der Stofs der Wellen, und letztere werden schwächer, sobald die Ablagerung gröfsere Höhe annimmt. Bei Winden, die in der Richtung des Stroms oder des Strandes wehen, ist diese Sandmasse sogar der Einwirkung des Wellenschlages ganz entzogen. So setzt sich der Strand immer weiter fort, und hierdurch erklärt sich auch das Entstehn der Nehrungen, so wie die bereits erwähnte Erscheinung, dafs die Oeffnungen in denselben, welche die See mit den Haffen verbindet, oder die Tiefe, sich meist an den vom Strom abgekehrten Seiten befinden.

Ein solches Tief (am Mittelländischen Meere Grau genannt) ist, wenn es sich selbst überlassen bleibt, vielfachen Aenderungen unterworfen. Nicht nur die Tiefe und Weite desselben nimmt zu und ab, je nachdem die hindurchgehende Strömung stärker oder schwächer ist, sondern es geschieht auch wohl, dafs es bei anhaltendem starken Wellenschlage vollständig geschlossen wird und der Strand sich darüber fortsetzt, der den Abflufs des Binnenwassers ganz verhindert. Wird letzteres durch einmündende Bäche gespeist, und steigt es so hoch an, dafs das Wasser über irgend eine andre Stelle der Nehrung früher hinüberfliefst, so eröffnet die Strömung, die sich hier bildet, ein neues Tief, das leicht von dem frühern weit entfernt sein kann. Solche wesentliche Aenderungen ereignen sich nicht leicht, wenn gröfsere Flüsse oder Ströme sich in das Haff ergiefsen, weil alsdann der Ausflufs oder das Tief zu weit geöffnet ist, als dass es während eines Sturms geschlossen werden könnte, aber dennoch ist dieses

in früherer Zeit auf der frischen Nehrung geschehn, woselbst nach sichern historischen Ueberlieferungen an drei verschiedenen Stellen die Verbindung der Ostsee mit dem frischen Haff statt gefunden hat, obwohl Letzteres aufser mehreren kleinern Flüssen auch den Pregel und die Nogat aufnimmt. Gegenwärtig können dergleichen neue Durchbrüche weder hier noch in den andern Nehrungen der Preufsischen Küste sich wiederholen, da durch Dünenbauten solchem Ereignifs vorgebeugt ist. Bei den Haffen oder den Binnenseen im südlichen Frankreich im Département Hérault ist die Eröffnung eines neuen Grau's aber nicht ungewöhnlich. Als ich im Jahr 1857 diese Küste an verschiedenen Stellen sah, war zur Sicherung der bestehenden Verhältnisse nirgend auch nur ein Versuch gemacht. Der Strand war überall der Einwirkung des Windes, der Strömung und des Wellenschlages vollkommen Preis gegeben. In neuster Zeit hat man jedoch angefangen einige Anlagen zu diesem Zweck auszuführen*), und zwar vorzugsweise um die Umgebungen wohnlicher zu machen, und die ungesunden Ausdünstungen der Binnenseen und Sümpfe zu vermindern, wodurch Fieber, wie auch die Cholera und andre Krankheiten in diesen Gegenden stets grofse Opfer forderten.

Die ganze Küste von der Mündung der Rhone bis nahe an die Spanische Grenze zeigt ein flaches sandiges Terrain, das oft eine halbe, zuweilen auch sogar eine ganze Meile breit ist, und worin eine grofse Anzahl Seen sich gebildet hat, die durch sehr zweifelhafte Ausflüsse mit dem Meer in Verbindung stehn. Nur an wenigen Stellen treten die Gebirge bis zum Ufer. Dieses thut namentlich das isolirte Kalkgebirge bei Cette und ein ähnliches bei Agde.

Der gröfste dieser Seen ist der Étang de Thau westlich von Marseille, der eine Fläche von $1\frac{1}{3}$ Deutschen Quadratmeilen einnimmt. Die in demselben Département östlich belegenen Seen von Palavas und von Mauguto sind wenig kleiner, sie ziehn sich sämmtlich in paralleler Richtung zum Strande hin, und nehmen sowol die von der Höhe herabkommenden Bäche auf, als auch

*) Régi, amélioration du littoral de la méditerranée dans le Département de l'Hérault. Annales des ponts et chaussées 1863, I, pag. 209. Hieraus sind die folgenden Mittheilungen entnommen.

das Meer, das, wenn es anschwillt, nicht nur durch die Ausflüsse in sie eindringt, sondern auch unmittelbar über den flachen Strand hineintritt. Das so aufgefangene Wasser findet keinen genügenden Abflufs, und indem es während der heifsen Jahreszeit verdunstet, entwickelt es jene schädlichen Dünste.

In früherer Zeit soll dieser Uebelstand nicht gewesen sein, und zwar so lange, als die schiffbare Verbindung jedes Sees mit dem Meer noch benutzt wurde, und man sich genöthigt sah, den betreffenden Ausflufs, wenn er sich stark verflacht hatte, wieder zu räumen. Seitdem indessen der Canal von Languedoc mit seinen Verzweigungen ausgeführt ist, bildet der Hafen von Cette mit den anschliefsenden Canälen einen sichern und bequemen Zugang zu allen an den Seen belegenen Orten und die Ausflüsse sind sich selbst überlassen. Als einst der Gesundheitszustand in Frontignan sehr schlecht war, und die Abflufs-Oeffnung sich zufällig erweiterte und vertiefte, also eine vollständigere Ein- und Ausströmung beim Steigen und Fallen des Meers eintrat, machte sich sogleich eine günstige Wendung in der Seuche bemerkbar.

Obwohl der See Thau mit dem Meer durch den Hafen von Cette dauernd verbunden ist, so genügt die 35 Fufs weite Oeffnung der Brücke wohl kaum, um das Wasser des Sees genügend zu erneuen. Während der Wasserwechsel im Mittelländischen Meere in Folge verschiedener Winde im Juli 1858 $3^1/_2$ Fufs betrug, schwankte das Niveau in diesem See nur um 1 bis $1^1/_2$ Zoll. Es haben sich auch aufser der erwähnten Verbindung noch zwei andre am westlichen Ende des Sees gebildet, die indessen beinahe geschlossen sind, also wohl nur das hohe Seewasser einlassen, ohne es wieder abzuführen.

Die Absicht geht nunmehr dahin, zunächst durch Bildung von Vordünen den Eintritt des Seewassers zu verhindern, und sodann jeden Abfluss zwischen je zwei Dämme zu legen, um das Eintreiben des Sandes zu verhindern, aufserdem aber davor noch bewegliche Wehre zu erbauen, die bei niedrigem Stande der See plötzlich geöffnet werden sollen, um die Rinnen aufzuräumen. Ob diese letzten Anlagen sicher zum Ziel führen werden, mufs dahin gestellt bleiben.

An das Entstehn der Nehrungen, wie solches vorstehend dargestellt ist, schliefst sich noch eine andre auffallende Erschei-

nung, nämlich die Bildung von längern Zungen oder sogenannten Haken, die namentlich vor Uferecken in das Wasser treten. Wegen ihrer freien Lage werden sie von den darüber laufenden Wellen angegriffen, und bleiben daher in dem vordern Theilen und oft in der ganzen Länge unter Wasser. Ihre Richtung stimmt immer mit der des Küstenstroms überein, doch lassen sie die Wendungen, die dieser macht, gleichfalls erkennen. Sie bestehn aus Sand oder Kies, der von dem anschliessenden Strande her antreibt, und wo solcher recht reichlich vorhanden ist, da bilden sie sich am vollständigsten aus. An der Preufsischen Ostsee-Küste befindet sich in der scharfen Ecke, wo das von Süden nach Norden gerichtete Ufer, das die Grenze mit Mecklenburg umfafst, sich plötzlich nach Osten wendet, auf dem sogenannten Dars, ein solcher Haken, der zuerst nach Norden gekehrt ist, und dann in die östliche Richtung übergeht. Aehnliche Haken, jedoch von geringerer Ausdehnung, schliefsen sich an die scharfen Uferecken von Arcona und von Brüsterort an.

Merkwürdig sind die Haken im Frischen Haff zwischen Pillau und Königsberg. Fig. 27 zeigt dieselben nach der Aufnahme, die der Navigations-Lehrer Becker 1825 und 1826 ausführte. Der Grund des Haffes besteht aus einem Niederschlage von Thon und Moorerde, der so weich ist, dafs die Peilstange darin tief eindringt. Die Haken sind dagegen feste Sandablagerungen, so wie auch die Ufer theils an sich sandig, theils aber von einem sandigen Strande grofsentheils umgeben sind.

Wenn man durch das Tief von Pillau in das Haff kommt, so trifft man zunächst die weit ausgedehnten Sandbänke, die bei westlichen Stürmen mit dem hart eingehenden Strom von der Seeseite her eingetrieben und hier niedergeschlagen sind. Durch dieselbe führt in südöstlicher Richtung das Haupt-Fahrwasser, die Renne genannt, das jedoch nur durch Baggern in der nöthigen Schiffahrts-Tiefe erhalten werden kann. Diese Sandbank lehnt sich nordwärts an den Camstigaler Haken, der nahe eine Meile lang in östlicher Richtung sich hinzieht, und die nordwärts gelegene Bucht, die Fischhauser Wiek genannt, begrenzt. Wenn er an seinem äufsern Ende auch tief unter Wasser liegt, so ist er doch mit der Peilstange leicht zu erkennen, indem diese in den Sand nicht eindringt. Der Haken verdankt ohne Zweifel

seinen Ursprung dem eingehenden Strom, der wie ein Küsten-Strom an seiner Seite den Sand absetzt.

Weiterhin ist die Strömung im Haff sehr geringe und fast unmerklich, da die Auswässerung des Pregels, die an sich schon ziemlich unbedeutend ist, in den weiten Profilen keine wahrnehmbare Geschwindigkeit erzeugen kann. Auch der seewärts eingehende Strom schwächt sich in dem Maafse, wie er sich ausbreitet. Der Wellenschlag ist im Haff freilich viel schwächer, als in der See, aber dennoch hinreichend stark, um den Sand am Strande in Bewegung zu setzen. Es tritt also hier der eigenthümliche Fall ein, dafs eine vorherrschende Strömung nicht existirt und die Ablagerungen des Sandes nur von dem Wellenschlage bedingt werden, die der Wind in seinen verschiedenen Richtungen veranlafst. Die Ablagerungen sind daher nicht nach grofsen zusammenhängenden Linien erfolgt, die durch vortretende feste Uferpunkte von einander geschieden werden, vielmehr bemerkt man darin nur die Wirkung der bald in dieser, und bald in jener Richtung auflaufenden Wellen, wodurch kleine Unregelmäfsigkeiten ausgeglichen und die Umgrenzung des tiefern Wassers innerhalb mäfsiger Flächen in Zusammenhang gebracht wird. Auf diese Weise sind die auf beiden Seiten durch vortretende Haken begrenzten kleinern Buchten von einander getrennt, und haben dabei mehr oder weniger abgerundete Formen angenommen.

Unmittelbar vor der Mündung des Pregels ist das Haff so schmal, dafs die Wirkung der Wellen auf die Sandablagerung weniger auffallend sich zu erkennen giebt. In der Entfernung von drei Viertel Meilen tritt aber schon von der Südseite der Brandenburger Haken, und demselben gegenüber, von der Nordseite ein andrer Haken, der Littaus-Sand genannt, weit vor. Im Abstande von $1\frac{1}{2}$ Meilen schliefsen alsdann wieder zwei ähnliche Haken, nämlich nordwärts der Peyser und südwärts in viel geringerer Länge der Lenskeberger Haken ein Bassin ab. Ein andres erstreckt sich bis an den Kahlholzer Haken, während die Fischhauser Wiek durch den bereits erwähnten Camstigaler Haken begrenzt wird. Auch weiter südwärts oder in dem sogenannten Elbinger Haff bemerkt man ähnliche Bassins. Das erste wird im Norden durch den Kahlholzer Haken und durch die Sandablagerungen vor Pillau, im Süden dagegen durch den gleichfalls

weit vorspringenden Leysuhner und zwei gegenüber liegende kleinere Haken bei Alt-Tief auf der Nehrung begrenzt. An dieses schliefst sich wieder ein andres Bassin, das bis an den Katthaken vor Passarge reicht, dem der Polsker Haken gegenüber liegt.

Wenn diese verschiedenen Haken auch ohne Zweifel zum Theil mit der Gestaltung und Zusammensetzung der dahinter belegenen Ufer in Beziehung stehn, und aus dem Abbruch derselben entstanden sind, so ist die Bildung der ziemlich regelmäfsigen Bassins zwischen ihnen, und das wiederholte gleichzeitige Auftreten je zweier einander gegenüberliegender Haken doch so auffallend, dafs man annehmen mufs, es habe noch eine andre Ursache zu ihrer Ausbildung Veranlassung gegeben. Diese ist aber nur der Wellenschlag, der in Verbindung mit der schwachen Strömung am Ufer, die er zur Folge hat, den Strand ausgleicht und ihn als niedrige Sandablagerung oder als Haken noch unter Wasser fortsetzt. Diese Erscheinung zeigt, wenn man das Fehlen einer vorherrschenden Küstenströmung berücksichtigt, eine unverkennbare Aehnlichkeit mit der Bildung der Nehrungen.

Aus den obigen Mittheilungen über die Entstehung des Strandes an der offenen See ergiebt sich, dafs im Allgemeinen jede Unterbrechung desselben, oder jede Oeffnung im Strande bei starkem Wellenschlage, und namentlich wenn einige Küstenströmung zugleich statt findet, durch den vorbeitreibenden Sand und Kies sich verengen und endlich ganz schliefsen mufs, wenn nicht andre Kräfte dies verhindern. Die Erfahrung bestätigt dieses überall. Schon im ersten Theil dieses Handbuchs (§ 26) ist erwähnt worden, dafs die Pontinischen Sümpfe dadurch entstanden sind, dafs die weitere Ausdehnung der Dünen die natürlichen Abflüsse verschlofs. Die kleinern Bäche, die an unserer Küste sich in die Ostsee ergiefsen, oder welche das Wasser aus verschiedenen dahinter liegenden Seen abführen, werden nach heftigem Seegange vollständig geschlossen, indem über sie fort ohne Unterbrechung der Strand sich fortsetzt.

Eine solche Sperrung pflegt freilich nicht von langer Dauer zu sein, denn sobald die Zuflüsse das Binnenwasser wieder heben, so beginnt die Ausströmung über den neuen Strand und hierdurch wird oft in kurzer Zeit die Rinne eröffnet. Hat sich aber

nur Sand hier abgelagert, so erfolgt die Wiedereröffnung zuweilen schon durch den Druck des Binnenwassers ohne die erwähnte Ueberströmung. Das Wasser sickert nämlich durch den Sand hindurch, sobald einige Niveaudifferenz eintritt, die schon das Sinken der See veranlassen kann, und hierdurch verwandelt sich der Sand in Triebsand, der unter mäfsigem Druck in Bewegung gesetzt wird. Die Anwohner wissen aus Erfahrung, dafs der Strand, wenn er auch trocken erscheint, vor solchen abgeschlossnen Binnenwassern nicht immer befahren werden darf.

Diese natürlichen Aufräumungen erfolgen indessen oft nicht so schnell, wie die Culturen des Binnenlandes erfordern, und gewöhnlich ist während des Sturms, der den Abfluss sperrte, der Wasserstand der See ungewöhnlich hoch. Bis zu demselben Niveau füllen sich alsdann auch die kleinen Seen und die anliegenden Wiesen werden unter Wasser gesetzt, während die Entwässerung aufhört. Es bleibt alsdann nichts übrig, als durch Handarbeit die Rinne wieder zu eröffnen. Fast in jedem Jahre mufs dieses vor den einigen neben dem Meere belegenen Seen in Hinter-Pommern geschehn.

Man hat mehrfach versucht, dieser sehr lästigen Arbeit dadurch überhoben zu werden, dafs man die Mündungen solcher Wasserläufe mit Dämmen einfafst, die über den Strand hinaus sich in die See fortsetzen. Der Erfolg solcher Anlagen war aber stets ein sehr geringer. Einerseits wurde der Sand schon durch den Wind in die Rinne geworfen, der gröfste Uebelstand war aber, dafs in kurzer Zeit die Ablagerung des Sandes oder die Bildung eines neuen Strandes nunmehr weiter seewärts vor den Köpfen der beiden Dämme erfolgte, indem die einspringenden Winkel an beiden Seiten sich schnell bis über das Wasser erhöhten. Dafs dieses geschehn mufste, war insofern vorherzusehn, als man gerade durch solche Dämme, die man wie Buhnen in die See hinausführt, ein stark angegriffenes Ufer schützt, und die Sandablagerung davor befördert.

Im Grofsherzogthum Mecklenburg hat man neben dem heiligen Damm, ohnfern Doberan, eine Anlage dieser Art noch mit einer Arche oder Schleufse verbunden und dieselbe hat bisher ihren Zweck auch erfüllt. Der Gemnitz-Bach, der den Coventer See entwässert, wurde in früherer Zeit in der erwähnten Art

vielfach gesperrt und die künstlichen Räumungen waren hier um so schwieriger, als die See nicht Sand, sondern sehr groben Kies von 1 bis 2 Zoll Durchmesser hineinwarf. Vor etwa 20 Jahren entschlofs man sich zur Erbauung zweier nur wenig vortretender Dämme. Aufserdem wurde der Bach über den Strand fort mit Holzwänden eingefafst und in dem etwas höhern, wasserfreien Ufer erbaute man eine Arche. Diese hatte den doppelten Zweck, zunächst den Eintritt des Seewassers, welches den am See belegenen fruchtbaren Wiesen nachtheilig ist, zu verhindern, sodann aber auch, um das Binnenwasser zur Zeit der Dürre zurückzuhalten, oder dieses etwas anzuspannen, um die Mündung, so oft es erforderlich ist, durch Spülung zu räumen. Die Arche ist etwa 30 Fufs weit und wird durch drei Schütze geschlossen. Obwohl die Aufräumungen durch Handarbeit bisher nie ganz entbehrt werden konnten, so wurden sie doch durch die Spülung wesentlich vermindert. Nichts desto weniger bildete sich im Lauf der Zeit ein andrer Uebelstand aus, der die dauernde Erhaltung der Anlage in Frage stellt. Dieser bezieht sich auf die grofse Masse des von der Ostseite her auf dem Strande antreibenden Kieses, der unbedingt von der Mündung abgehalten und daher vor derselben aufgefangen werden mufs. Zu diesem Zweck hatte man schon vor einigen Jahren einen 8 Fufs hohen Dielenzaun errichtet, der aber auf der Ostseite ganz verschüttet war, und vor den man auf der hohen Kiesablagerung noch einen neuen stellen wollte.

In den Mündungen der Flüsse und Ströme treten wesentlich dieselben Erscheinungen ein, der Unterschied besteht nur darin, dafs die Oeffnungen zu grofs sind, als dafs sie während eines Sturmes vollständig geschlossen werden könnten. Vor die Persante, Wipper und den Stolp-Flufs werfen die Wellen häufig in kurzer Zeit Bänke von Sand und Kies auf, wodurch die Schiffahrt wesentlich behindert und zuweilen sogar ganz unterbrochen wird, flache Rinnen bleiben aber jedesmal noch offen, durch welche die Ausströmung erfolgen kann, die bald wieder die frühere Tiefe darstellt.

Um einer Strom-Mündung, die gewöhnlich einen Seehafen bildet, die nöthige Fahrtiefe zu sichern, ist also an allen Küsten, vor welchen Sand und Kies vorbeitreibt, eine kräftige Strö-

mung dringendes Erfordernifs. Künstlich ist es nicht leicht, eine solche, wenn auch nur periodisch, darzustellen. Nur wo ein bedeutender Fluthwechsel statt findet, kann man das Hochwasser in sogenannten Spülbassins auffangen und dieses später, wenn die See den niedrigsten Stand angenommen hat, unter starkem Gefälle, also mit grofser Geschwindigkeit abfliefsen lassen. Denselben Zweck erfüllen auch ausgedehnte Niederungen und sehr breite Flufsbetten, die bei jeder Fluth unter Wasser gesetzt werden, welches bei der Ebbe wieder zurückströmt.

Vor Meeren, die keinem erheblichen Fluthwechsel ausgesetzt sind, läfst sich die austretende Wassermasse nicht vergröfsern, doch ist es ein wesentlicher Gewinn, wenn der Strom nicht unmittelbar in das Meer mündet, sondern sich vorher in einen ausgedehnten Binnensee ergiefst, wie dieses an der Preufsischen Ostsee-Küste vor Swinemünde, Pillau und Memel geschieht. Bei anschwellender See nehmen die dahinter liegenden Haffe grofse Wassermassen von aufsen auf, und durch diese bildet sich später eine kräftige und anhaltende Ausströmung. Ein solcher Binnensee, wenn er die nöthige Gröfse hätte, würde auch eine hinreichend tiefe Rinne in seiner Ausmündung selbst in dem Fall dauernd erhalten, wenn nur kleine Bäche sich in ihn ergiefsen, oder er vielleicht vom Lande her gar keinen Zuflufs hätte.

Abgesehn von der abfliefsenden Wassermasse, die sich gewöhnlich nicht vergröfsern läfst, kann man dennoch die Strömung derselben wesentlich dadurch verstärken, dafs man die Mündung möglichst regulirt und sie aufserdem in angemessner Weise beschränkt, auch läfst sich durch sanfte Krümmung der Strom vor dem concaven Ufer concentriren und verstärken. In dieser Weise ist im Swinemünder Hafen der überraschende Erfolg herbeigeführt, dafs während vor Erbauung der Molen im Jahr 1818 nur die kleinsten Seefahrzeuge von 6 bis 7 Fufs Tiefgang einlaufen konnten, die Tiefe sich nach und nach vergröfsert hat und gegenwärtig in der bequemen Einseglungslinie 22 Fufs mifst.

Wenn man Strommündungen in dieser Art verbessern will, so kommt es vorzugsweise darauf an, die unmittelbar davor liegende Untiefe zu beseitigen, denn die flache Böschung des Strandes dehnt sich meist noch weit aus, auch treten die Riffe, von denen in § 6 die Rede war, darüber vor. Um daher den

beabsichtigten Erfolg sogleich herbeizuführen, werden die Molen gemeinhin soweit fortgeführt, bis sie die beabsichtigte Fahrtiefe erreichen. Zwischen den Molen stellt sich die nöthige Tiefe in einer Rinne gewöhnlich von selbst dar, aber die Tiefe in der neuen Mündung und unmittelbar vor derselben ist keineswegs gesichert. Der der Küstenströmung zugekehrte Strand neben der Mole nimmt zwar Anfangs den vorbeitreibenden Sand auf, aber bald richtet sich dieser Strom nach den Molenköpfen, und wenn der ausgehende Strom nicht hinreichend stark ist, so beginnen hier wieder die Verflachungen, die freilich wegen der verstärkten Strömung nicht so schnell wie früher sich ausbilden, aber dennoch im Lauf der Zeit endlich eine neue Verlängerung der Molen nothwendig machen.

Bei Gelegenheit der Erhaltung der Tiefe in den Hafenmündungen wird hierauf näher eingegangen werden, auf die Aenderung der Meeresufer üben die Ausmündungen der Ströme aber noch einen andern sehr wesentlichen Einfluſs aus. Die Ströme, Flüſse und selbst Bäche führen nämlich erdiges Material mit sich. Beim Wellenschlag werden die feinern Theilchen im Wasser schwebend fortgeführt, während Sand und Kies niederschlagen und nur längs des Strandes weitertreiben. Lagern solche in groſser Masse sich ab, so dehnt sich der Strand weiter seewärts aus, und in Buchten oder an Stellen, wo starker Wellenschlag selten eintritt, sinken auch die thonigen und vegetabilischen Theilchen nieder und alsdann pflegen die Verlandungen von Jahr zu Jahr sich sehr schnell weiter auszudehnen. Dieses geschieht beispielsweise im Frischen Haff vor der Mündung der Nogat (vergl. Theil I, § 24) und besonders auffällig ist es auch an den Mündungen des Mississippi in den Mexicanischen Meerbusen.

In solchem Fall kann es zweifelhaft werden, ob der durch die Wellen angetriebene Sand, oder die aus dem Binnenlande herabgeführten Massen die Mündung in höherm Grade bedrohn, und es entsteht die Frage, ob man den Strom durch den Hafen leiten, oder seitwärts in das Meer treten lassen soll. Für beide Anordnungen giebt es Beispiele aus älterer und neuerer Zeit, wie später ausführlicher nachgewiesen werden soll.

Wenn ein Binnensee oder eine zusammenhängende Kette von

solchen an zwei verschiedenen Stellen mit dem Meer in Verbindung steht, so kann es sich ereignen, dafs bei gewissen Winden eine dauernde Durchströmung statt findet. An derjenigen Mündung, die vom Winde getroffen wird, wo also der Spiegel der See sich erhebt, tritt das Wasser ein, und da gerade hier in Folge des starken Wellenschlages alsdann auch der Sand in Bewegung gesetzt und von einer oder der andern Seite längs des Strandes herbeigeführt wird, so dringt er mit dem Wasser zugleich ein. Wenn er auch nicht in der engen Mündung liegen bleibt, so geschieht dieses doch weiter abwärts, wo das Profil sich erweitert. Diese nachtheilige Einströmung ist aber anhaltend, weil das Wasser auf der andern Seite abfliefst, es werden daher, so lange der Sturm anhält, immer neue Sandmassen hinein geworfen. Die Ausströmung dagegen, die wegen des reinen Wassers, das sie abführt, von besonderer Wichtigkeit für die Erhaltung der Tiefe ist, bleibt nur schwach, weil ein Theil des eingetriebenen Wassers sogleich abfliefst.

Will man in solchem Fall günstigere Verhältnisse herbeiführen, so mufs man eine Oeffnung ganz oder wenigstens zeitweise schliefsen. Diejenige Oeffnung, welche die eigentliche Hafenmündung bildet, mufs jedenfalls den ausgehenden Strom behalten, wird diese also mit einer Schleuse versehn, so darf solche nur während heftiger und anhaltender Einströmung geschlossen werden. Vortheilhafter ist es, die andre Oeffnung, oder an irgend einer passenden Stelle die innere Verbindung zu sperren. Will man hier aber die Binnen-Schiffahrt erhalten, so hindert nichts, eine Schiffs-Schleuse mit vier Thorpaaren zu erbauen, welche den höhern Wasserstand auf beiden Seiten abhalten kann. Es ist alsdann wieder dasselbe vortheilhafte Verhältnifs herbeigeführt, als wenn ein Binnensee mit einer einzigen Oeffnung hinter dem Hafen liegt, und man hat nur dafür zu sorgen, dafs dieser See die möglichst gröfste Ausdehnung behält.

So lange die beiderseitigen Oeffnungen bestehn, so ist in der Regel eine derselben der Gefahr der Verlandung ausgesetzt. Die Formation der beiden schmalen Landzungen, der Schaabe und der Schmalen Heide, auf der Ostseite der Insel Rügen, von denen schon die Rede war, läfst deutlich erkennen, dafs sie sich als Nehrungen ausgebildet haben, also aus frühern Meeresbuchten

hervorgewachsen sind. Vor ihrer Entstehung standen die Binnenseen, die jetzt allein auf der Westseite, also der Insel Hiddens-Oe gegenüber, mit dem Meer verbunden sind, auch auf der Ostseite mit demselben in Verbindung. Diese Oeffnungen haben sich von selbst geschlossen. In manchen Fällen erhalten sich selbst neben Meeren, die keinem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind, zwei und sogar mehrere Oeffnungen, doch geschieht dieses immer nur, wenn die Wasserflächen sehr grofse Längen-Ausdehnung haben, und unter sich sehr auffallend in verschiedene Abschnitte getheilt sind. Das Frische Haff in Ost-Preufsen, von dem ein Theil in Fig. 27 dargestellt ist, hat in früherer Zeit noch in der Nähe von Lochstädt bei *A*, und dem Leysuhner Haken gegenüber bei *B* mit der See in Verbindung gestanden, und sowol nach den historischen Ueberlieferungen, als auch nach der Gestaltung und Beschaffenheit des Grundes leidet es keinen Zweifel, dafs hier wirklich Verbindungen mit der See existirten. Sie bestanden indessen nicht gleichzeitig oder vielleicht war das Haff damals noch durch zwischenliegende Landzungen in mehrere Theile getrennt. Das gegenwärtige Tief bei Pillau bildete sich erst aus, nachdem das sogenannte Balgaer Tief bei *B* sich bereits sehr verflacht hatte, wozu nach den geschichtlichen Nachrichten die Versenkung von mehreren Schiffen Veranlassung gegeben haben soll.

Das Curische Haff hat, soviel bekannt, stets nur eine Verbindung mit der See gehabt, und zwar dieselbe, die noch existirt, wenn diese auch durch Verlängerung der Nehrung im Laufe der Zeit weiter nordwärts gerückt zu sein scheint.

Das Haff unterhalb Stettin hat dagegen drei Verbindungen mit der See: die Peene, die Swine und die Dievenow. Seine Längen-Ausdehnung mifst 6 Meilen, und wenn man das Achterwasser hinzurechnet, sogar 10 Meilen. Aus letzterm ergiefst sich die Peene in das Meer, die Dievenow dagegen aus dem Kamminer Bodden, während die Swine das Wasser aus dem eigentlichen Haff, das wieder in das kleine und das grofse Haff zerfällt, abführt. Alle drei Ausmündungen sind langgestreckte Stromarme, während an mehreren andern Stellen nur schmale und niedrige Sandstreifen das Haff vom Meere trennen, wie bei Misdroy und bei Koserow.

Auch der Greifswalder Bodden, der freilich keine grofse Längen-Ausdehnung hat, mündet sowohl an der östlichen, wie an der westlichen Seite der Insel Rügen in die See. Dieser Umstand verhindert, dafs bei gewissen Winden das Wasser auf der äufsern Seite sich ausgleichen kann, und hat daher Veranlassung gegeben, dafs das lange und vielfach gekrümmte Fahrwasser, das bei Stralsund vorbeiführt, sich dauernd erhält, während das Norder-Fahrwasser, das nur für kleinere Schiffe dient, kaum durch Baggerung erhalten werden kann.

Endlich verdient noch die 7 Meilen lange Kette von Seen Erwähnung, die im Norden von Stralsund, südlich von der Insel Hiddens-Oe beginnt und sich bei Barth vorbei bis Ribnitz im Mecklenburgischen erstreckt. Auf der Ostseite hat sie eine weite Mündung in die Proner Wiek vor der Insel Rügen und daneben ist sie nur durch eine hohe Sandbank, von nahe 1 Meile Länge, der Bock genannt, von der offenen See getrennt. Diese Bank, obwohl vielfach von etwas tiefern Rinnen unterbrochen, liegt nahe in der Höhe des gewöhnlichen Wasserspiegels der See. Aufserdem existirte noch eine andre Verbindung mit der See, nämlich durch den Prerow-Strom, der etwa eine Meile lang und sehr gekrümmt war. Er führte oft bedeutende Wassermassen ab und mündete auf der Ostseite von Darsser-Ort. Soweit die historischen Nachrichten reichen, hat er stets, obwohl mit vielfachen Veränderungen seines Laufs, bestanden. In neuster Zeit ist er abgeschlossen, um das Eintreten des Seewassers in die daneben belegenen Ortschaften und die Ueberfluthungen der Aecker und Wiesen zu verhindern.

Die schmale Landzunge, das Fischland genannt, welche bei Wustrow auf der Westseite den Saler Bodden (den letzten in dieser Seenkette) von der Ostsee trennt, liegt zum Theil so niedrig, dafs das Hochwasser herübertritt, und es zeigen sich darin auch Spuren von künstlichen Anlagen, die vermuthen lassen, dafs man eine schiffbare Verbindung hier darzustellen versucht hat. Bei der freien Lage dieser Küste haben sich indessen durch den hinzutreibenden Sand und Kies die Verbindungen der beiderseitigen Wasserflächen immer wieder bald geschlossen.

An denjenigen Meeren, in welchen Fluth und Ebbe stark auftritt, kommen Haffbildungen mit vorliegenden Nehrungen nicht

leicht vor, oder letztere sind vielfach durchbrochen, woher sie sich in Insel-Reihen verwandeln. An der westlichen Küste von Nord-Amerika sieht man die Nehrungen noch vollständig ausgebildet, soweit der Fluthwechsel nur 1 oder 2 Fufs beträgt. Dieses ist der Fall an den Ufern der Staaten Florida, Indiana und weiterhin wieder bei Cap Hatteras in Nord-Carolina. Wenn dagegen der Fluthwechsel gröfser wird, so zeigen sich vielfache Unterbrechungen in solchen Landzungen, so dafs jedes dahinter liegende Haff eine grofse Anzahl von Mündungen hat.

Sehr auffallend tritt diese Erscheinung auch in der Nordsee auf, besonders in der langen Inselreihe, die mit Texel beginnt und sich über 30 Deutsche Meilen weit bis Wangeroog vor der Mündung der Jade hinzieht. Diese Inseln zeigen auf der Seeseite die vollständige Dünenbildung und wenn sich im Innern zuweilen auch fruchtbarer und culturfähiger Boden vorfindet, so darf man ihre Trennung doch nicht von der ursprünglichen Formation des Bodens herleiten, vielmehr ist anzunehmen, dafs bei dem starken Fluthwechsel einzelne Rinnen, die vielleicht zufällig zwischen ihnen entstanden, wegen der immer wiederkehrenden starken Durchströmung sich vertieften und erweiterten und nicht wieder schlossen, bis endlich die vollständige Trennung erfolgte. Auch vor der Küste von Schleswig wiederholt sich, namentlich neben der langgestreckten Insel Sylt eine ähnliche Erscheinung.

Der vor dem Strande vorbeitreibende und darauf aufgeworfene Sand bleibt zum Theil nicht dauernd ein Spiel der Wellen, und namentlich vor geschützten Ufern häuft er sich von selbst an. Ihn aufzufangen, regelmäfsig abzulagern und zu befestigen, ist vorzugsweise der Zweck des Dünenbaues, der später ausführlich behandelt werden wird. Doch bleibt dieser Sand keineswegs immer auf dem Strande, vielmehr wird er, bevor er bewachsen ist, bei heftigen Seewinden, wenn dieselben auch mit Regen verbunden sind, landwärts getrieben. Grofse Massen Sand überdecken alsdann, oft in Entfernungen bis zu einer halben Meile den Boden und nehmen ihm seine Ertrags-Fähigkeit, oft auch bildet er hier weit ausgedehnte, ganz kahle Sandschellen, von wo er wieder, vom Winde in Bewegung gesetzt, weiter getrieben wird. Besonders auffallend ist es, dafs hohe und steile Ufer

diesem Sandfluge kein Hindernifs entgegensetzen, vielmehr gerade solche ihn vorzugsweise zu begünstigen scheinen. Wenn ein starker Seewind diese Ufer trifft, so erzeugt derselbe vor ihrem Fuſs einen bedeutenden Druck, und indem die comprimirte Luft keinen andern Ausweg als nach oben findet, so entsteht eine heftige aufwärts gerichtete Luftströmung. Diese giebt sich schon durch das Gefühl sehr auffallend zu erkennen. Wenn man unmittelbar auf dem Rande eines steilen Abhanges steht, so ist man vor dem Sturm geschützt, obwohl kein Gegenstand hier den Wind abhält und man gerade hier dem Sturme in seiner gröſsten Stärke ausgesetzt zu sein glauben sollte. Die aufwärts gerichtete Strömung setzt aber noch über das Ufer hinaus ihre Bewegung fort, und so geschieht es, daſs sie nicht plötzlich ihre Richtung verändert, vielmehr erst in einiger Höhe über der steilen Dossirung horizontal abgelenkt wird. Das auf solchem hohen Ufer weidende Vieh pflegt daher bei starkem Sturm möglichst nahe an den Rand desselben zu treten, weil es hier am wenigsten vom Winde getroffen wird.

Dieser aufwärts gerichtete heftige Luftstrom reiſst nun den Sand mit sich fort, und führt ihn auf das hohe Ufer. Zur Zeit eines Sturms ist dasselbe in diese Sandmasse so dicht eingehüllt, daſs es mit einem starken Nebel bedeckt erscheint. In dieser Weise ist der Streckelberg, drei Meilen westwärts von Swinemünde, der sich etwa 150 Fuſs über die See erhebt und aus festem Thonboden besteht, bis 20 Fuſs hoch mit Seesand überdeckt, und in gleicher Weise bemerkte ich an der Portugisischen Küste, wo vor den steilen Felsufern ein Strand sich gebildet hatte, in der Höhe von einigen hundert Fuſsen darüber ausgedehnte Sandschellen.

Eine besondere Erwähnung verdient endlich noch die Entstehung der fruchtbaren Flächen, die man Marschen nennt, und die aus dem Meeresboden emporwachsen, ohne daſs ein Strom in der Nähe die feinen Erdtheilchen vom Binnenlande her herbeiführt. Diese Erscheinung wiederholt sich nur an solchen Stellen, wo seewärts in groſser Ausdehnung fruchtbarer Boden unter Wasser liegt, wo also weite Flächen aufgeschwemmten Landes durch das Meer in frühern Zeiten zerstört sind. Sobald das darüber stehende Wasser durch Wellenschlag und Strömung

bewegt wird, so löst es die feinen Theilchen der Oberfläche, hebt sie und nimmt deren so viele in sich auf, dafs es stark getrübt wird. Wenn alsdann eine heftige Strömung dieses Wasser in geschützte Busen oder Buchten führt, wo es bei eintretender Ruhe die Erde fallen läfst, und wenn derselbe Vorgang in kurzen Zwischenzeiten sich immer wiederholt, so ist es erklärlich, dafs der Boden aufwächst. Beispiele hiervon sind der Dollard an der Mündung der Ems und der Jade-Busen. Ich habe bereits erwähnt, dafs der Thonboden unter der Sandablagerung, welche die Insel Wangeroog bildet, beim kleinsten Wasser zu Tage tritt. Mit den thonigen Theilchen schwängert sich also das Seewasser sowohl hier, als auch noch mehr auf den Watten innerhalb der Inselreihe, und indem es bei der Fluth die Busen füllt, so führt es ihnen grofse Erdmassen zu, von denen nach den an der Jade-Mündung angestellten Messungen (§ 12) ein bedeutender Theil daselbst zurückbleibt oder den Boden erhöht. Diese weichen und niedrigen Thonablagerungen, die zur Zeit des niedrigsten Wassers daraus hervortreten, nennt man Watte. Sie wachsen immer mehr an und bald bildet sich einige Vegetation darüber, die den weitern Niederschlag durch die gröfsere Ruhe und in Folge dieser durch die vollständigere Abklärung des Wassers noch mehr befördert. Sobald der Boden höher anwächst, wird aber die darüber tretende Wasserschicht immer niedriger, und hierdurch vermindert sich die Masse der aus ihr herabsinkenden erdigen Theilchen. Hat der Boden endlich die Höhe der gewöhnlichen Fluthen erreicht, so wächst er nur noch unmerklich weiter. Er ist alsdann zur Eindeichung geeignet, und heifst nunmehr Groden.

Obwohl in diesen Fällen die Fluth in Verbindung mit dem Wellenschlage und den Strömungen, die sie veranlafst, sehr fruchtbare Alluvionen erzeugt und grofse Landesflächen aus dem Meere vortreten läfst, so kann sie dennoch, und zwar an eben diesen Stellen unter besondern Umständen wieder die ausgedehntesten Zerstörungen veranlassen. Solche Ereignisse sind vorzugsweise zu besorgen, wenn der Boden eingedeicht wird, bevor er bis zur nöthigen Höhe angewachsen ist. Derselbe trocknet nämlich im Schutz der Deiche stärker aus, als früher, und sinkt daher tiefer herab, so dafs er nach längerer Zeit

wieder unter die gewöhnliche Fluthhöhe herabsinkt, und daher vollständig vom Hochwasser bedeckt werden würde, wenn dieses Zutritt fände. Dieses geschieht bei Deichbrüchen, und das Einlaufen des Wassers bei der Fluth, wie das Auslaufen desselben bei der Ebbe veranlafs heftige Strömungen, die um so stärker und gefährlicher sind, je weiter die Fläche sich ausdehnt, die abwechselnd immer gefüllt und entleert wird. Die Zerstörungen sind aber besonders grofs, wenn der Boden als Ackerland benutzt wird, und seine Oberfläche deshalb aufgelockert ist und keinen Schutz in festem Rasen findet. Wo Deichbrüche vor einem der Fluth und Ebbe unterworfenen Gewässer eingetreten sind, mufs man mit Aufbietung aller Kräfte sich beeilen, die Deiche möglichst schnell wieder zu schliefsen, weil die Zerstörung nicht nur von 6 zu 6 Stunden sich wiederholt, sondern auch immer nachtheiliger wird, indem tiefe Rinnen sich ausbilden, welche den Zu- und Abflufs erleichtern und dadurch verstärken.

In früherer Zeit, als das Deichwesen noch nicht gehörig geordnet und für schleunige Instandsetzungen noch nicht gesorgt war, sind wiederholentlich Zerstörungen eingetreten, welche heutiges Tages unglaublich erscheinen und jede Vorstellung übertreffen. Von der Verwandlung des Süd-Holländischen Waards in ein weites und tiefes Binnenwasser ist schon früher (im zweiten Theile dieses Handbuches § 25) die Rede gewesen. Eben so soll der Dollard, der vor den später darin erfolgten Verlandungen etwa 7 Quadratmeilen enthielt, durch den Bruch eines Ems-Deiches im Jahre 1277 entstanden sein. Einige dreifsig Städte und Dörfer befanden sich auf der zerstörten Landfläche*).

Auch der Busen der Jade entstand durch wiederholtes Eindringen der Fluthen in ein reiches und bevölkertes, bereits eingedeichtes Land. Am 17. November 1218 erfolgte vorzugsweise ein solcher Einbruch, wodurch sieben Kirchspiele theils zerstört und theils vom festen Lande getrennt wurden. Die Ueberlieferungen erwähnen vorzugsweise die Klöster und Kirchen, die ihren Untergang dabei fanden. Die vereinzelten übrig-

*) Sehr ausführliche Nachrichten findet man hierüber in dem Werke „de Dollard" von Stratingh und Venema. Groningen 1855.

gebliebenen Theile der Dörfer wurden verlassen, weil die wenigen Bewohner derselben nicht im Stande waren, sich gegen die Fluthen zu schützen. Die Abgeordneten der sieben Seelande faſsten hierauf den Beschluſs, daſs in dringenden Fällen die benachbarten Dorfschaften Hülfe leisten sollten. Dieses war vielleicht das erste Beispiel eines ausgedehnten Deichverbandes. Nichts desto weniger wurde dem Andrange der Fluthen doch keine Grenze gesetzt, und der Busen gewann im Laufe der Zeit immer gröſsere Ausdehnung. Namentlich trat wieder am 17. Januar 1511 bei der sogenannten Antoni- oder der Eis-Fluth eine übermäſsige Zerstörung ein. Ein heftiger Orkan löste plötzlich das Eis, und trieb groſse Schollen gegen die Deiche, die dadurch brachen. Eine Menge Dörfer und unter diesen auch Oberahn, von dessen Feldern noch ein kleiner Theil als Insel im Jade-Busen liegt, wurde damals zerstört, so wie auch das Dorf Band, von dessen Kirche man die Ruinen vor dem Preuſsischen Jade-Gebiet noch sehn kann. Das Jeverland wurde damals vom Lande Oldenburg vollständig getrennt, indem die Breite des Busens sich auf nahe drei Deutsche Meilen ausdehnte*). Seit jener Zeit sind durch Alluvionen groſse Flächen rings um den Busen und namentlich an der westlichen Seite wieder gewonnen.

*) van Halem, Geschichte des Herzogthums Oldenburg. Theil I, Seite 186 und 413.

Zweiter Abschnitt.

Eindeichungen am Meere.

§ 14.

Seedeiche.

Wenn gleich die am Meere belegenen Niederungen, oder die Seemarschen in derselben Weise, wie diejenigen an den obern Strömen, durch erdige Niederschläge entstanden sind, so kommen dennoch bei ihrer Eindeichung manche Umstände in Betracht, welche bei den letztern ganz unbeachtet bleiben dürfen, oder von untergeordneter Bedeutung sind. Hieher gehört vorzugsweise der heftigere Wellenschlag, demnächst die stete Veränderung des Wasserstandes wegen Fluth und Ebbe, verbunden mit den dadurch veranlafsten Strömungen, die abwechselnd nach einer und der andern Seite gerichtet sind. Auch der Salzgehalt des Wassers ist von Einflufs, insofern derselbe das Aufkommen von Gesträuch verhindert, welches den Flufsdeichen oft wesentlichen Schutz bietet.

Die vollständige Sicherung gegen Deichbrüche ist an der See ein unabweisbares Bedürfnifs, weil das in solchem Falle eindringende Wasser nicht etwa die Niederung nur anfüllt, oder in mäfsiger Strömung einem abwärts belegenen Ausflufs sich zuwendet, vielmehr verursacht der Wechsel des äufsern Wasserstandes ein fortwährendes heftiges Ein- und Ausströmen des Wassers durch die Bruchstelle. Diese erweitert sich daher sehr schnell und um so kräftiger wird der Angriff auf die ganze Bodenfläche, die, besonders wenn sie beackert war, sehr schnell sich vertieft. Dabei können ausgedehnte Landstriche ganz verschwinden, wie in frühern Zeiten schon geschehn ist (vergl. § 13). Wenn es aber auch glückt, den Bruch bald zu schliefsen und dadurch ausgedehnten Verwüstungen vorzubeugen, so tritt noch

der wesentliche Nachtheil ein, dafs das Salzwasser in den Boden eingedrungen ist, und die Vegetation dadurch leidet, bis durch reichlichen Zutritt von süfsem Wasser und Abflufs desselben, nachdem es Salztheilchen aufgenommen hat, nach und nach die nöthige Auslaugung erfolgt.

Abgesehn von den sehr heftigen Angriffen, denen die Seedeiche ausgesetzt sind, ist ihre Sicherstellung in mancher Beziehung leichter, als bei Stromdeichen. Die unbegrenzten Anschwellungen, die durch anhaltende Eisversetzungen vor letztern eintreten können, fehlen hier eben so wie diejenigen, welche durch Beschränkung der Fluthprofile veranlafst werden, da letztere jederzeit übermäfsige Weite behalten. Auch bietet der Fluthwechsel den grofsen Vortheil, dafs man gemeinhin in kurzen Zwischenzeiten die ganze äufsere Dossirung der Deiche trocken sieht und Gelegenheit erhält, die gefahrvollsten Beschädigungen, wenn auch nur nothdürftig, wieder auszubessern.

Für die Niederung selbst ist der Fluthwechsel von grofsem Nutzen, indem er ihre Entwässerung wesentlich erleichtert. Wenn sie nur etwas über gewöhnlichem Niedrigwasser liegt, so ist ein natürlicher Abflufs mittelst der Siele, die beim Steigen des Wassers sich von selbst schliefsen, schon darzustellen, und man braucht keine künstliche Entwässerung durch Schöpfmaschinen einzurichten.

Insofern in manchen Meeren kein merklicher Fluthwechsel statt findet, so gelten die vorstehenden Bemerkungen nicht vollständig für die an solchen belegenen Deichen. An der Ostsee kommen indessen nur sehr wenige Eindeichungen vor, und wo solche ausgeführt wurden, sind die Verhältnisse wesentlich anders, als an der Nordsee, und namentlich an der Deutschen und Niederländischen Küste. Hier dienen sie zum Sehutz eines überaus fruchtbaren und ergiebigen Marschbodens, dessen Erhaltung die kostbarsten Anlagen rechtfertigt, an der Ostsee dagegen, wie etwa an der nördlichen Seite des Stralsunder Regierungsbezirks bei Prerow nnd Zingst sind die Culturen von wenig Bedeutung, und man hat die Deiche nur ausgeführt, um die dahinter liegenden Ortschaften gegen Ueberfluthung und Durchströmung zu schützen. Man brauchte daher auf die möglichste Ausdehnung der abgeschlossnen Flächen nicht Rücksicht zu nehmen, und zur

Ermäfsigung der Unterhaltungskosten durften die Deiche weit zurückgelegt werden, wodurch ein breiter Aufsendeich entstand, der die Kraft der Wellen wesentlich schwächt.

An dieser Uferstrecke, sowie fast jedesmal, wo ein niedriges, aus aufgeschwemmtem Boden bestehendes Terrain an die offene See tritt, bildet sich von selbst ein gewisser Schutz gegen letztere, der aber in vielen Fällen durch Viehweiden, Abholzen und dergleichen unwirksam gemacht wird. Dieses sind die Dünen. Der ausgewaschne reine Seesand sinkt nicht bis zur Meerestiefe herab. Er wird vielmehr vom Wellenschlage in der Höhe des Wasserstandes hin- und hergetrieben, bis der Wind ihn weiter landwärts führt. Wo also die Vegetation auf der Düne zerstört wird, kann diese sich weder erhöhen noch erhalten, und der Sand, aus dem sie besteht, fliegt ins Binnenland und versandet dieses. Die künstliche Dünenbildung, von der im Folgenden die Rede sein wird, hängt in dieser Weise mit dem Bau von Seedeichen innig zusammen, und in den Niederlanden giebt es manche Anlagen, bei denen es zweifelhaft ist, ob man ihnen diese oder jene Benennung beilegen soll.

Neben dem offenen Meer kommen nur selten neue Eindeichungen vor, denn Aufschlickung findet hier nicht statt, es bilden sich daher auch keine neue Marschen. Wo solche aber aus frühern Perioden vorhanden sind, und das Meer nach und nach die Ufer abgebrochen hat, auch die Dünen verschwinden, da tritt die Nothwendigkeit ein, das Uebertreten des Hochwassers zu verhindern und zugleich die vorhandenen Ufer gegen fernern Abbruch zu schützen. In welcher Weise der letzte Zweck zu erreichen, wird später behandelt werden, dem Uebertreten des Hochwassers kann man aber nur durch Deiche begegnen. Gewöhnliche Deiche haben indessen nicht die erforderliche Haltbarkeit, um ohne Aufsendeich oder Vorland dem vollen Wellenschlage zu widerstehn, man mufs daher in solchem Fall ungewöhnliche Schutzmittel anwenden, wie etwa bei dem Deiche geschehn ist, der sich von der Mündung des Hafens Nieuwen-Diep beim Helder vorbei bis zu den Dünen des westlichen Strandes von Nord-Holland hinzieht.

Anders gestalten sich die Verhältnisse in Meeresbuchten und an solchen Ufern, die durch Inselreihen und ausgedehnte

hohe Wattgründe vor dem stärksten Wellenschlage geschützt sind. Die ganze Nordsee-Küste von der so eben erwähnten Ecke in Nord-Holland an, den Mündungen der Weser und Elbe vorbei, längs Holstein und Schleswig bis Jütland hin, liegt hinter Inseln oder weit ausgedehnten Watten, und hier ist das Land fast überall niedrig und durch Deiche geschützt, indem das wasserfreie höhere Terrain, oder die Geest, nur selten an das Meer tritt. In den Buchten dieses Küstenstrichs, so wie auch an einzelnen, besonders geschützten Strecken desselben, zeigen sich starke Alluvionen und ein fruchtbarer Boden wächst empor, der, sobald er die nöthige Höhe und angemessene Breite erreicht hat, eingedeicht und dem festen Lande angeschlossen wird.

In den untern Stromstrecken findet, wie bereits erwähnt, Ebbe und Fluth gleichfalls statt, auch sind die Mündungen so weit, daſs der heftige Wellenschlag der See hineintritt. Die Deichverhältnisse sind daher hier dieselben, wie in jenen Buchten, und man muſs die Deiche an den untern Strom-Theilen als Seedeiche behandeln. Die Grenze zwischen Fluſs- und Seedeichen läſst sich nicht scharf bezeichnen. Gemeinhin nimmt man an, daſs sie an derjenigen Stelle liegt, wo die Rückströmung der Fluth gewöhnlich aufhört, oder wo nur ein geringer Fluthwechsel statt findet.

Im Allgemeinen stimmt die Anordnung und Ausführung der Seedeiche mit der der Fluſsdeiche nahe überein. Aus dem bereits Erwähnten ergiebt sich aber schon, daſs neue Eindeichungen am Meere häufiger vorkommen, als an den obern Strömen. An letztern hat man schon in früherer Zeit die Eindeichungen so weit ausgedehnt, als irgend zulässig war, ja man ist sogar häufig weit über dieses Maaſs hinausgegangen. In neuerer Zeit bezieht sich daher der Deichbau an Strömen mehr auf die Regulirung und angemessene Verbindung solcher ältern Anlagen, als daſs man ausgedehnte Niederungen, die bisher offen waren, noch eindeichen und in Polder verwandeln könnte. Dieses ist wenigstens in denjenigen Ländern der Fall, die seit Jahrhunderten cultivirt sind.

Am Meere und eben so auch an weiten Strommündungen ist das Verhältniſs ein andres. So oft nicht etwa die Rücksicht auf Erhaltung des Fahrwassers es verbietet, darf man die Ein-

deichungen beliebig weit ausdehnen, ohne daſs eine Besorgniſs wegen der Beschränkung des Profils sich rechtfertigen lieſse. Wo daher weite Alluvionen sich gebildet haben, kann gewöhnlich auch eine neue Eindeichung vorgenommen werden. Die Rücksichten, welche man hierbei zu nehmen hat, sollen im Folgenden ausführlich erörtert werden. Dieser Fall wiederholt sich aber nicht nur am Dollard und an der Jade in ziemlich kurzen Zwischenräumen, sondern auch im Königreich der Niederlande sind noch in neuster Zeit eine Menge Eindeichungen ausgeführt. So ist der Anna-Paulowna-Polder in Nord-Holland, der Insel Wieringen gegenüber, entstanden, und es ist Absicht, selbst diese Insel durch einen neuen Polder mit dem festen Lande zu verbinden. Auf der östlichen Seite der Insel Texel sind neue Eindeichungen vorgenommen. Auch in der Provinz Groningen sind zwischen dem Busen, der Laauwer-See genannt, und dem Dollard während der letzten fünfzig Jahre groſse Landflächen gewonnen. Die bereits erfolgte Trockenlegung des Haarlemmer Meeres und die nahe vollendete des Y gehören nicht hieher, da der Fluthwechsel im Y sehr geringe ist, und von der künstlichen Entwässerung der Niederungen durch Schöpfmaschinen bereits im II. Theil dieses Handbuchs § 93 die Rede war. Es muſs jedoch erwähnt werden, daſs die wasserfreie Eindeichung des Haarlemmer Meeres in früherer Zeit lebhaften Widerspruch gefunden hatte, indem die Stadt Amsterdam nicht die Erhöhung des sogenannten Rheinländischen Schlaperdeichs erlaubte, der dieses Meer vom Y trennt. Sie besorgte nämlich, daſs die hohen Anschwellungen des Y in nachtheiliger Weise sich erhöhen möchten, wenn nicht eine Entlastung in das Haarlemmer Meer statt fände. Zu diesem Zweck blieb der Deich bis zum Anfange dieses Jahrhunderts so niedrig, daſs das Wasser bei gewissem hohen Stande sich darüber ergoſs. Meist geschah dieses nur in der Höhe von wenigen Zollen, doch soll es zuweilen 3 Fuſs hoch darüber geflossen sein. Man überzeugte sich indessen doch endlich, daſs dieser Ablauf vergleichungsweise gegen die ganze zuströmende Fluthwelle so geringfügig war, daſs dadurch eine irgend wahrnehmbare Senkung unmöglich herbeigeführt werden konnte, und so wurde denn schon vor der Trockenlegung des Haarlemmer Meeres die wasserfreie Abschlieſsung bewirkt, die für

die Entwässerung desselben und des ganzen Rhijnlandes von wesentlichem Nutzen war. Die Erfahrung hat seitdem auch keinen Nachtheil für Amsterdam herausgestellt.

In Betreff der Unterhaltung der Seedeiche ist bereits des günstigen Umstandes Erwähnung geschehn, dafs ihre äufsere Dossirung bei der Ebbe ganz oder doch grofsentheils frei zu werden pflegt, und in der kurzen Zwischenzeit, wo dieses geschieht, die eingetretenen Schäden untersucht und nothdürftig beseitigt werden können. Nur in sehr seltenen Fällen, wenn nämlich der Wind während der Ebbe an Heftigkeit zunimmt, und das Wasser vor sich aufstaut, ereignet es sich, dafs nach dem Hochwasser keine Senkung eintritt, vielmehr die See bis zur folgenden Fluth ihren hohen Stand behält und sich alsdann aufs Neue noch mehr erhebt. Ein solches Ereignifs wiederholt sich indessen nicht oft, und die Dauer des Hochwassers dehnt sich dabei auch nur auf zwei Fluthen aus, so dafs man am nächsten Tage sicher erwarten kann, das Wasser wieder ebben zu sehn.

Der Eisgang gestaltet sich vor Seedeichen ganz anders, als vor Flufsdeichen. Er ist für sie gleichfalls sehr nachtheilig, namentlich wenn die Schollen noch grofs und stark sind, und von den Wellen gegen die Dossirung oder die Krone geschleudert werden. Dazu kommt noch der ungünstige Umstand, dafs beim Umsetzen des Stroms dasselbe Eis wieder denselben Deich trifft und aufs Neue beschädigt. Es kann sogar geschehn, dafs das Eis wiederholentlich vorbeitreibt. Namentlich ereignet sich dieses bei ruhiger Witterung, indem alsdann die Schollen nicht zerschlagen werden, und nur der Strömung folgen. Gemeinhin findet indessen doch einiger Wellenschlag statt, und wenn derselbe auch den Stofs des Eises vermehrt, so zerbricht er dasselbe, und die kleinern Stücke, die sich alsdann bilden, treiben gewöhnlich dicht gedrängt vor demjenigen Deiche, dem sie durch den Strom und Wind zugewiesen werden. Indem sie aber, wie andre schwimmende Körper, den Wellenschlag mäfsigen, so sind die Beschädigungen, die sie anrichten, alsdann weniger bedeutend, als in den obern Stromstrecken.

Die gröfsten Beschädigungen erleidet ein Seedeich in der Regel durch den Wellenschlag, der wie oben (§ 6) erwähnt, nicht nur von der Stärke des Windes, sondern auch von der

Ausdehnung der davor liegenden Wasserfläche in der Richtung des Windes abhängig ist, und dessen Wirkungen am heftigsten sind, wenn die Wellen normal gegen den Deich anlaufen. Hieraus ergiebt sich schon, dafs die einzelnen Strecken eines längern Deichs verschiedenartigen Angriffen ausgesetzt sind und daher auch bald mehr bald weniger gesichert werden müssen, wie auch die Höhe ihrer Krone an einzelnen Stellen gröfser sein mufs, als an andern erforderlich ist. In letzter Beziehung mag gleich erwähnt werden, dafs das Uebertreten einiger Wellenscheitel von wenig Bedeutung zu sein pflegt, dafs aber ein oft wiederholter Ueberlauf leicht wesentliche Beschädigungen veranlafst, und daher jedenfalls verhindert werden mufs.

Die Sicherheit eines Seedeichs hängt vorzugsweise, wie auch bei Stromdeichen, von der Ausdehnung und Höhe des Vorlandes, oder des sogenannten Aufsendeichs ab. Obwohl diese Fläche bei Hochwasser mehr oder weniger überfluthet, und bei ungewöhnlichen Sturmfluthen vielleicht 10 Fufs hoch und darüber mit Wasser bedeckt wird, so mäfsigt sie dennoch den Wellenschlag so sehr, dafs die zerstörende Wirkung desselben viel geringer ist, als wenn die gröfsere Wassertiefe unmittelbar an den Deich heranträte. Die Ursache dieser Abschwächung ergiebt sich aus dem Verhalten der Wellen, wenn sie auf Wasserflächen von minderer Tiefe auflaufen (§ 5). Sie nehmen bei hinreichender Ausdehnung des stufenförmigen Absatzes die Eigenschaften solcher Wellen an, die dieser geringern Tiefe entsprechen, und ihre Geschwindigkeit vermindert sich. Aufserdem verhindert der hohe Aufsendeich aber auch die Annäherung des heftigsten Stroms, der gleichfalls den Deich bedrohen würde. Man darf hierauf weniger Gewicht legen, wenn es sich um schnell anwachsende Ufer handelt, weil solche einem starken Angriff nicht ausgesetzt sind, auch erwartet werden kann, dafs der Aufsendeich sich bald erhöhen und weiter verbreiten, und dadurch die Gefahr mäfsigen wird. Wenn dagegen der Aufsendeich abbricht, also an Breite verliert, und diese schon ziemlich geringe geworden ist, so mufs die äufserste Vorsicht auf seine Erhaltung gerichtet werden. Man darf alsdann keine Beschädigung seiner Oberfläche gestatten. Die zur Instandhaltung des Deichs erforderliche Erde mufs anderweitig entnommen, auch der weitere Abbruch des

Ufers durch unmittelbare Deckung desselben oder durch Buhnen-Anlagen verhindert werden. Wenn indessen die hierzu erforderlichen sehr grofsen Geldmittel nicht beschafft werden können, so wird die Vertheidigung des Deichs immer schwieriger und zweifelhafter, und endlich tritt der Zeitpunkt ein, wo die weitere Erhaltung desselben theils wegen der grofsen Kosten und theils auch wegen der augenscheinlichen Gefahr nicht mehr möglich ist. Alsdann mufs man sich zur Zurücklegung entschliefsen. Hiernach ist die Frage in Betreff der nothwendigen Breite des Aufsendeichs von grofser Bedeutung.

Die Beantwortung derselben hängt von manchen äufsern Umständen ab, und läfst sich daher nicht allgemeingültig fassen. Nichts desto weniger mag erwähnt werden, dafs Woltman*) eine Breite des Vorlandes von 20 bis 24 Hamburger Ruthen (330 bis 400 Rheinländischen Fufsen) am Meer und an grofsen Flüssen in den meisten Fällen für ausreichend hält. Caland dagegen, auf dessen Urtheil die Niederländischen Ingenieure häufig Bezug nehmen, ist der Meinung, dafs man selbst unter günstigen Verhältnissen die Annäherung der Uferbrüche nicht auf weniger, als 50 Ruthen dürfe kommen lassen, und bei gefährlicher Lage des Deichs man die Uferdeckung schon vornehmen müsse, sobald die Breite des Vorlandes sich bis auf 80 Rheinländische Ruthen vermindert hat.

Die Zurücklegung eines Deichs kann indessen nicht erfolgen, wenn unmittelbar hinter demselben reiche Ortschaften oder ein wichtiger Hafen liegt. Zuweilen ist aber auch die Ertragsfähigkeit des Bodens so grofs, dafs sie selbst die gröfsten Opfer zur Erhaltung der bestehenden Eindeichung rechtfertigt. In diesen Fällen kommen verschiedene Mittel zur Sicherung der Deiche in Anwendung. Man giebt denselben entweder eine überaus flache äufsere Dossirung, die wie der Strand am Meere mit der Neigung von etwa 1 : 20 ansteigt, und sorgt zugleich dafür, dafs eine fruchtbare Erde diese bedeckt, auf welcher der Rasen sich gehörig ausbildet. Die Wellen laufen alsdann sanft auf, und eben so fliefst das Wasser darüber zurück. Doch müssen kleine Einrisse dabei sogleich gefüllt und gedeckt werden, weil

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur II. Seite 6.

sie in kürzester Zeit grofse Ausdehnung gewinnen. Ein andres Mittel besteht darin, dafs man am Fufs des Deichs die Wellen gegen vortretende Pfähle und Riegel brechen läfst, um sie zu schwächen. Dabei nimmt das Wasser aber höchst unregelmäfsige Bewegungen an, und um das Auswaschen des Bodens daneben zu verhindern, mufs dieser durch ein hohes und sicher gebettetes Pflaster vollständig gesichert sein.

Endlich entschliefst man sich auch zuweilen zu einer vollständigen Ueberpflasterung der ganzen äufsern Dossirung. Wie dieses zum Beispiel beim Deich, der sich auf dem nördlichen Ufer von Nord-Holland, der Insel Texel gegenüber, von Huisduinen bis zum Hafen Nieuwen-Diep hinzieht, geschehn ist. Derselbe ist über eine halbe Deutsche Meile lang. Das Marsdiep, an welchem er liegt, bildet die Hauptverbindung der Südersee mit der Nordsee. Da es am meisten westwärts liegt, so tritt durch dieses die Fluth, wie auch die Ebbe zuerst ein und verursacht daher die stärkste Strömung. Die etwa 6 Meilen entfernte weite Oeffnung zwischen Vlieland und Terschelling wird erst $1^1/_2$ Stunden später von der Fluth erreicht, und wird erst wirksam, wenn die Südersee sich beinahe gefüllt hat. Hieraus erklären sich die grofsen Tiefen im Marsdiep, die 100 bis 120 Fufs betragen und meist unmittelbar am Fufs des Deichs liegen. Besonders gefährlich ist eine Einbucht am Helder, in der man auch einige Buhnenköpfe erbaut hat, wie der Situationsplan Fig. 28 ergiebt.

Fig. 29 zeigt ein Profil dieses Deichs und seiner Befestigung. Die Krone liegt durchschnittlich 14 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser, der Fluthwechsel beträgt aber, wie schon früher erwähnt, etwa $3^1/_2$ Fufs. Die Steinböschung hat über dem Hochwasser eine acht- bis zehnfache Anlage. Zwischen dem Hoch- und Niedrigwasser ist sie auch noch ziemlich flach und schliefst sich in der Höhe des Niedrigwassers an ein Banket von 1 Ruthe Breite an. Von hier fällt die Böschung sehr steil, nämlich mit ein und einhalbfacher, stellenweise sogar nur mit einfacher Anlage auf die Sohle des Stroms herab. Wie stark die Steindecke hier sein mag, ist unbekannt, da sie schon während Jahrhunderten nach und nach aufgebracht ist. Gegenwärtig kommen bedeutende Beschädigungen nur selten vor, doch

zeigen sich in jedem Jahr stellenweise Bewegungen, wobei Steine herabrollen und durch Nachschüttung ersetzt werden müssen. Man verwendet jährlich etwa 100 Schachtruthen, die aus Norwegen und Schweden bezogen werden, und von denen jeder Stein mindestens 100 Pfund wiegen soll, doch meist bedeutend schwerer ist.

Wenn in dieser Steinschüttung eine Bewegung eintritt, so pflegt sich dieselbe so weit fortzusetzen, dafs wenigstens, die äufsern Steine des Bankets daran Theil nehmen, woher man sie bemerken kann. Nichts desto weniger mifst man noch in jedem Jahr bei ruhiger Witterung in 6 bis 7 Ruthen Entfernung von einander, die Profile der Böschung und zwar bis auf das unbedeckte Strombett herab, und die Nachschüttungen erfolgen an denjenigen Stellen, wo die Böschung besonders steil wird.

Ueber Wasser ist die äufsere Dossirung des Deichs mit grofsen Granit- oder Basaltblöcken auf einer starken Unterlage von Ziegelbrocken und Kies zum Theil bereits abgepflastert, und hiermit wird in jedem Jahr fortgefahren, indem man die ältere rohe Steinpackung beseitigt.

Es dürfte hier der passendste Ort sein, eines Deichs zu erwähnen, der unter eigenthümlichen Verhältnissen ausgeführt ist, und sich schon insofern von allen andern unterscheidet, als er vor einem Terrain liegt, das selbst bei den höchsten Anschwellungen nie überfluthet wird. Dieses ist der sogenannte Moordeich, an der südöstlichen Seite des Jade-Busens zwischen Schweiburg und Seefeld. Derselbe zieht sich etwa auf die Länge einer halben Meile durch ein hohes Moor. Die Höhe des Bodens war Veranlassung, dafs die Eindeichung hier noch fehlte, während der Jade-Busen schon seit Jahrhunderten rings umher eingedeicht war. Aber die Anschlüsse der seitwärts gelegenen Deiche an das Moor waren fortwährend der Zerstörung ausgesetzt, und vor den Enden beider Deiche, wie weit man diese auch fortsetzte, bildeten sich immer von Neuem tiefe Rillen, durch welche die hohen Fluthen in das Binnenland eindrangen. Dazu kam noch ein andrer sehr wesentlicher Uebelstand, der gleichfalls die hinterliegenden Marschen bedrohte. Dieses Moor nämlich bildete auch an sich keinen wasserdichten Abschlufs, indem es im eigentlichen Sinne des Worts nur auf dem Wasser schwamm. Bei Hoch-

wasser erhob es sich und bot letzterm reichlich Gelegenheit, in der Tiefe weit ins Binnenland zu treten. So geschah es, dafs plötzlich bald hier und bald dort grofse Wassermassen emporquollen und schon im Moore selbst wunderbare Erscheinungen veranlafsten. In dem Aufsendeich wiederholen sich diese auch noch gegenwärtig. Man sieht hier Getreidefelder, Baumpflanzungen, Gärten und selbst leichte Wohnhäuser, die, nach dem Stande des Wassers in den Gräben zu urtheilen, nur wenig über der gewöhnlichen Fluth liegen, also bei Anschwellungen inundirt werden müfsten. Dieses geschieht aber niemals, denn in demselben Maafse, wie das Wasser steigt, hebt sich auch der schwimmende Boden. Nichts desto weniger treten hin und wieder starke Pressungen ein, der Boden bricht auf, und indem bedeutende Wassermassen herausdringen, so reifsen sie gröfsere und kleinere Theile der Oberfläche mit sich und versetzen diese auf andre Stellen. Namentlich in der Nähe des Deichs ereignet sich diese Erscheinung nicht selten, und man sieht daselbst in ähnlicher Weise, als wenn ein Bergsturz statt gefunden hätte, Klumpen Torf von etwa 6 Fufs Höhe und mehrere Quadratruthen grofs, auf dem Boden liegen. In früherer Zeit soll sogar der Fall vorgekommen sein, dafs ein ganzes Grundstück, soweit es durch den Umschliefsungsgraben begrenzt war, sich löste und mit dem Hause und Garten an eine andre Stelle trieb. Gewöhnlich erfolgt indessen der Bruch da, wo die Belastung am gröfsten ist, und dieses findet neben den Häusern statt, dieselben werden daher möglichst leicht aufgeführt, und man vermeidet es, durch starke Brandmauern und Schornsteine ihr Gewicht zu vergröfsern.

Um diesen immer wiederholten Einbrüchen und Quellungen zu begegnen und das Binnenland vollständig und sicher abzuschliefsen, wurde endlich im Anfange des vorigen Jahrhunderts, im Jahre 1717, durch den Admiral Sehestädt ein Deich durch das Moor geschüttet. Wegen der grofsen Tiefe des letztern war die Arbeit sehr schwierig, auch mufste die Erde aus weiter Entfernung beigefahren werden. Der Boden hatte so viel Festigkeit, dafs er nicht nur die einzelnen Wagenladungen, sondern die Schüttungen in mehreren Lagen noch trug, bei zunehmender Belastung brach er aber durch, und Alles versank spurlos.

Dieser Deich hat in der ganzen Höhe, soweit er im Boden steckt (man schätzt diese Höhe auf 20 bis 30 Fufs), keine regelmäfsige Böschung erhalten, doch ist er ohne Zweifel sehr steil, weil die Erde bei dem Gegendruck des Moors sich nicht seitwärts ausbreiten konnte. Manche Sackungen, die von Zeit zu Zeit eintreten, lassen besorgen, dafs der Deich bei hohen Fluthen durchbrechen könnte, und man hat daher angefangen, ihn auf der äufsern Seite mit einer starken Berme zu versehn. Man verwendet hierzu die sehr zähe Erde von dem sogenannten Klaihorn, einem Reste der alten Marsch, die vor dem Moor liegt, aber durch Wellenschlag immer mehr abgebrochen wird.

§ 15.

Seemarschen.

Marschen nennt man die fruchtbaren Wiesen und Ackerländereien, die so tief liegen, dafs sie ohne den Schutz der Deiche vom Hochwasser der daneben befindlichen Ströme oder der See inundirt werden würden. Sie sind aus Alluvionen entstanden, zeigen eine sehr ebene Oberfläche und ihr Boden besteht aus feinen Thontheilchen und vegetabilischen Stoffen, denen häufig auch Sand und andre Bestandtheile, die das Wasser herbeiführte, beigemengt sind. Die Geest ist dagegen das höhere Terrain, das vom Hochwasser nicht erreicht wird, und in Bezug auf Fruchtbarkeit der Marsch weit nachsteht.

Es ist bereits erwähnt (§ 13), dafs unter günstigen Verhältnissen die an der See belegenen Marschen nach und nach weitere Ausdehnung gewinnen, indem die Tiefe des angrenzenden Wassers durch Niederschläge sich vermindert und dadurch der Boden emporwächst. Dieses geschieht jedoch nie an der offenen See, sondern nur in Buchten und Meeresbusen oder hinter ausgedehnten Inseln. Aufserdem aber mufs das während der Fluth anströmende Wasser mit Schlick stark versetzt sein, der vor dem Eintritt der Ebbe wenigstens theilweise zu Boden sinkt. Ist letzterer so weit angewachsen, dafs er über Niedrigwasser tritt, so bildet er ein Watt. Die Oberfläche desselben, die nie trocknet, weil sie nach wenig Stunden immer aufs Neue überfluthet wird,

ist so lose, dafs man darin tief einsinkt. Sobald aber das Watt bis zur halben Fluthhöhe angewachsen ist, so kann man darauf ohne Mühe gehn, auch ohne Ueberdeckung des Bodens die verschiedensten Arbeiten darauf ausführen.

Das Watt ist indessen, wenn es keinen Sand enthält, mittelst eines leichten Schlittens schon zugänglich, sobald es nur so eben über das niedrige Wasser vortritt. Um die Krabben oder kleinen Seekrebse zu fangen, die in grofser Menge darauf zurückbleiben, wird es am Dollard auf einem sehr dünnen, unten geglätteten und mit niedrigen vorstehenden Rändern versehenen Brettchen befahren. Dasselbe hat in der Mitte eine leichte Rüstung und eine gabelförmige Bank. Auf letzterer ruht das linke Knie des Fischers, während derselbe sich gegen die Rüstung lehnt. Mit dem rechten Fufs stöfst er aber gegen den Boden und schiebt dadurch den Schlitten sehr schnell fort. Auch auf den Watten vor den Ufern von Ritzebüttel an der Mündung der Elbe hat man mit günstigem Erfolg ähnliche nachenförmige Vorrichtungen benutzt, worin Baumaterialien transportirt wurden. Dieselben waren aus halbzölligen Brettern zusammengesetzt, 20 Fufs lang, 3 Fufs 4 Zoll breit und nur 7 Zoll hoch, der Boden war aber neben den Rändern abgerundet. Zwei Männer schoben sich darin mittelst Stangen fort, die an ihren untern Enden mit kurzen Querbrettchen versehn waren, um ein zu tiefes Eindringen zu verhindern. Diese Vorrichtungen sind aber nur zu benutzen, wenn die Oberfläche des Watts aus reinen Thontheilchen besteht und von jeder sandigen Beimengung frei ist. Findet sich die letztere darin vor, so ist der Grund schon bedeutend fester, und man kann mit geringer Anstrengung darauf gehn.

Noch ehe das Watt die Höhe der halben Fluth erreicht hat, findet sich darauf einige Vegetation von sehr salzhaltigen Gewächsen, und indem diese die Bewegung des Wassers merklich schwächen, so wird demselben Gelegenheit geboten, die darin schwebenden Schlammtheilchen vollständiger fallen zu lassen. Das Watt wächst alsdann viel schneller, als bisher auf. Sobald es soweit empor gestiegen ist, dafs es nur noch kurze Zeit hindurch vom gewöhnlichen Hochwasser bedeckt, und bei todten Fluthen von demselben gar nicht mehr erreicht wird, so überzieht es sich mit einer festen Grasnarbe. Man nennt es alsdann

Groden oder Maifeld. Die weitere Erhöhung hört noch keineswegs auf, so wie überhaupt dafür keine bestimmte Grenze bezeichnet werden kann, aber sie erfolgt um so langsamer, je seltener und je niedriger die Ueberfluthung durch trübes Wasser wird. Im Oldenburgischen betrachtet man den Boden als reif, oder als hinreichend hoch angewachsen, um mit Vortheil eingedeicht zu werden, wenn er sich ungefähr 1 Fuſs über das gewöhnliche Hochwasser erhebt.

Das Gesetz, nach welchem der Boden sich erhöht, läſst sich leicht allgemein bezeichnen. Setzt man nämlich die Höhe des Niederschlags in einem Hochwasser gleich $\frac{1}{m}h$, wo h die Höhe ist, in welcher die Fluth über die untersuchte Stelle tritt, so wird der Wasserstand beim Eintritt der nächsten Fluth nur noch

$$h\left(1-\frac{1}{m}\right)$$

also die Höhe des zweiten Niederschlags nur

$$\frac{1}{m}h\left(1-\frac{1}{m}\right)$$

sein und so fort. Hieraus ergiebt sich, daſs die Tiefe, die ursprünglich h war, nach der $n$ten Fluth nur noch

$$h\left(1-\frac{1}{m}\right)^n$$

sein wird. In einem Jahre treten durchschnittlich 706 Fluthen ein, also in einem Monat 59. Durch Einführung dieser Zahlen und ihrer Vielfachen für n kann man, sobald der Thongehalt im Fluthwasser und die Höhe des anwachsenden Wattes bekannt ist, leicht seine Höhe nach einer gewissen Zwischenzeit berechnen.

Beispielsweise setze ich $m = 1000$, d. h. aus Tausend Theilen Fluthwasser scheidet sich bei jeder Fluth 1 Theil feste Masse ab, und zwar bezieht sich das angenommene Verhältniſs nicht auf das Gewicht, sondern auf das Volum. Die Höhe des ersten Niederschlags würde also 1 Linie betragen, wenn das Watt bei der Fluth 7 Fuſs hoch mit Wasser bedeckt würde. Ein solcher Niederschlag ist allerdings sehr groſs, aber dennoch dürfte er in der Wirklichkeit zuweilen noch gröſser sein. Wenn ferner h gleich 10 Fuſs gesetzt, und zugleich angenommen wird,

dafs das geklärte Wasser bei der Ebbe vollständig abfliefst, also bei jeder Fluth immer neues trübes Wasser und zwar immer in derselben Höhe darüber tritt, so würde die Wassertiefe in folgender Weise nach und nach sich vermindern:

Nach	1	Monat	. . . .	auf	9,43	Fufs
-	2	Monaten	. . . .	-	8,90	-
-	3	-	. . . .	-	8,40	-
-	4	-	. . . .	-	7,92	-
-	5	-	. . . .	-	7,47	-
-	6	-	. . . .	-	7,05	-
-	7	-	. . . .	-	6,65	-
-	8	-	. . . .	-	6,27	-
-	9	-	. . . .	-	5,92	-
-	10	-	. . . .	-	5,58	-
-	11	-	. . . .	-	5,27	-
-	12	-	oder 1 Jahr	-	4,97	-
-	2	Jahren	. . . .	-	2,47	-
-	3	-	. . . . .	-	1,23	-
-	4	-	. . . . .	-	0,61	-
-	5	-	. . . . .	-	0,30	-
-	6	-	. . . . .	-	0,15	-
-	7	-	. . . . .	-	0,075	-
-	8	-	. . . . .	-	0,037	-
-	9	-	. . . . .	-	0,019	-
-	10	-	. . . . .	-	0,009	-

Bei dem angenommenen Thongehalt des Fluthwassers vermindert sich, wie vorstehende Tabelle zeigt, die Tiefe in jedem Jahre um etwas mehr, als die Hälfte. Die Verminderung würde genau die Hälfte betragen, wenn der Thongehalt ein wenig geringer angenommen, oder $m = 1011$ gesetzt wäre.

In dieser Untersuchung, deren Resultate im Allgemeinen sich an die Erfahrung anschliefsen, ist die Voraussetzung gemacht worden, dafs die Fluth jedesmal eine gleiche Höhe erreicht, und zwar wird man bei der Bestimmung von h die mittlere Höhe der Fluth zum Grunde legen. Bis zu derselben kann aber unter dieser Voraussetzung das Watt niemals anwachsen, oder die übrig bleibende Differenz, die in jedem Jahre sich in einem bestimmten Verhältniss vermindert, kann niemals vollständig

verschwinden. In der Wirklichkeit gestaltet die Erscheinung sich anders, indem die Fluthen häufig diese mittlere Höhe nicht erreichen, in andern Fällen aber sehr bedeutend sie übersteigen. Schon zur Zeit der Springfluthen findet zum Theil das letztere statt, aber noch höher schwellen die Fluthen bei starken Stürmen an. Wenn alsdann das Wasser auch sehr bewegt ist, und sonach der Niederschlag der Thontheilchen keineswegs vollständig erfolgt, so giebt die starke Wellenbewegung andrerseits Veranlassung, dafs auch der Thongehalt des Fluthwassers ungewöhnlich grofs ist. Die Wellenbewegung wird aufserdem, wenigstens in den tiefern Schichten, die sich zunächst über dem Boden befinden, durch die Vegetation auf dem bereits hoch liegenden Watt sehr gemäfsigt, und sonach zeigen sich nach den höchsten Fluthen auch sehr starke Schlickablagerungen, selbst wenn das Watt schon bis zur Höhe der gewöhnlichen Fluthen angewachsen war. Letztere bildet also keineswegs die äufserste Grenze der Erhöhung, vielmehr wächst das Watt und namentlich neben den Ufern, wo die Strömung gewöhnlich am schwächsten ist, noch einige Fufs darüber empor.

Um den neuen Groden möglichst bald in vollem Maafse nutzbar zu machen, werden gemeinhin die Anträge zu seiner Eindeichung schon gestellt, sobald er nur die Höhe der mittlern Fluthen erreicht und mit Grasnarbe sich überzogen hat. Indem der mittlere Fluthwechsel an der Deutschen Nordsee-Küste 10 bis 11 Fufs beträgt, so rechtfertigt sich ein solches Verlangen, wenn man allein die dermaligen Verhältnisse in Betracht zieht. Diese gestalten sich aber oft im Lauf der Zeit wesentlich anders. Sobald nämlich später wieder neue, vor diesen belegene Flächen eingedeicht, also die Abzugsgräben verlängert werden müssen, deren absolutes Gefälle sich nicht vergröfsern läfst, so nimmt das relative Gefälle immer mehr ab. Besonders pflegt aber die Entwässerung mangelhaft zu werden, wenn der vor dem Deich liegende Theil des Entwässerungs-Grabens oder das Siel-Tief eine bedeutende Länge annimmt, weil dieses im höchsten Grade der Verschlickung ausgesetzt ist. Auch darf die spätere Senkung des eingedeichten Grodens nicht unbeachtet bleiben, die eine ausführliche Erörterung fordert. Hierzu kommt endlich noch, dafs der Deich um so kostbarer in seiner Anlage und Unter-

haltung wird und um so gröfserer Gefahr ausgesetzt bleibt, je niedriger das vor und hinter ihm belegene Terrain ist.

Diese Umstände fordern dringend, dafs man die Eindeichung nicht zu früh vornimmt, vielmehr dieselbe bis zu dem Zeitpunkt aussetzt, wo der Groden das Maximum seiner Höhe nahe erreicht hat, er also nur wenig noch anwachsen kann. In früherer Zeit sind in dieser Beziehung vielfach und wahrscheinlich sogar gewöhnlich, Mifsgriffe vorgekommen, wodurch die Erhaltung der Deiche eben so wie die Entwässerung übermäfsig erschwert ist. In den Niederlanden wiederholt sich sogar vielfach die Erscheinung, dafs Polder, die ursprünglich ohne Zweifel bei jedem Niedrigwasser trocken wurden, weil in so früher Zeit die Eindeichung sonst nicht ausgeführt wäre, gegenwärtig der natürlichen Entwässerung ganz entbehren, und nur durch Schöpfmühlen noch entwässert werden können.

Sobald der Groden eingedeicht, also dem fernern Zutritt des Fluthwassers entzogen ist, so hört seine weitere Erhöhung auf, aufserdem veranlafst aber auch die dauernde und regelmäfsige Entwässerung, dafs er zusammentrocknet und die Höhe verliert, die er ursprünglich hatte. Bei dem thonigen Marschboden, der an der Deutschen Nordsee-Küste gewöhnlich vorkommt, ist diese Senkung weniger erheblich. Besonders auffallend ist sie aber, wenn das Terrain zur Zeit der Eindeichung noch nicht hoch angewachsen, also noch sehr nafs und schlammig war. Selbst das Setzen der Deiche, das vor den neuen Groden viel stärker zu sein pflegt, als man gewöhnlich annimmt, rührt zum Theil von der Compression des Untergrundes her.

Ganz anders und viel bedenklicher gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Untergrund aus Moor oder Torf besteht. Das wichtigste Beispiel in dieser Beziehung ist die Provinz Nord-Holland, in der sehr ausgedehnte Torflager vielfach unter der fruchtbaren Erde angetroffen werden, und wo die Entwässerung, wie historisch nachgewiesen ist, von Jahrhundert zu Jahrhundert immer gröfsere Schwierigkeiten bietet. Schon zur Zeit der Römischen Herrschaft bestanden hier wahrscheinlich Eindeichungen, doch hat deren Verbindung und die regelmäfsige Umschliefsung des ganzen Landes in der Form, die es zum Theil noch hat, nach Velsen, erst im 11. oder 12. Jahrhundert statt

gefunden. Gegenwärtig liegt das Terrain, mit Ausnahme neuerer Polder, nirgend über dem mittlern Wasserspiegel der See, und vielfach erreicht es selbst diesen nicht. Die natürliche Entwässerung hat daher aufgehört und das Binnenwasser mufs künstlich gehoben werden. Wenn also die Deiche nicht existirten, so würden zur Zeit des Hochwassers nur die Dünen an der westlichen Küste darüber hervorragen, während das ganze übrige Land nichts andres, als ein Watt wäre, das zum Theil nur einen geringen Wasserstand über sich hätte, theils aber so tief läge, dafs es selbst bei niedrigem Wasser noch mehrere Fufs hoch von demselben bedeckt bliebe. Ein solches Terrain und zwar unmittelbar neben der See durch künstliche Entwässerung trocken zu legen, war in damaliger Zeit unmöglich.

Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dafs der Boden von Nord-Holland in früherer Zeit gegen den Meeresspiegel bedeutend höher lag, als gegenwärtig. Die Annahme, dafs das Meer sich im Allgemeinen gehoben habe, ist weder an sich wahrscheinlich, noch wird dieselbe durch irgend welche andre Wahrnehmungen bestätigt, und eben so wenig ist die Voraussetzung zulässig, dafs der Boden in Folge von Bewegungen im Innern der Erde, etwa wie die Schwedische Küste, seine Höhenlage verändert habe. Auch die Vermuthung, die Brünings ausgesprochen hat, dafs nämlich der Wasserstand der Süder-See sich gehoben habe, ist weder durch Messungen bestätigt, noch auch an sich wahrscheinlich. Brünings meint nämlich, dafs die Süder-See in früherer Zeit nur durch einen, oder zwei sehr tiefe Meeres-Arme mit der Nordsee in Verbindung stand, die, indem sie nach und nach sich vervielfältigten, gröfsere Durchflufsweiten annahmen, aber an Tiefe verloren, woher gegenwärtig zwar die Fluthen noch vollständig eindringen, aber die Ebben wegen ungenügender Tiefe in den Ausflufs-Mündungen den Wasserstand nicht mehr so weit senken können, wie früher. Niveau-Differenzen dieser Art von sehr geringer Gröfse zeigen sich allerdings vielfach in geschlossnen Buchten, aber wenn die bei der Fluth eingedrungene Wassermasse sehr grofs ist, so findet auch eine starke Ausströmung statt, und hierdurch bildet sich ein tiefes Bette, worin die Ebbe vollständig abfliefst. Jedenfalls müfste, wenn dieses hier nicht wäre, der mittlere Wasserstand in der Süder-See

höher sein, als in der Nordsee, was die Nivellements nicht ergeben.

Die verschiedenen ältern Polder in Nord-Holland liegen gegenwärtig 2 bis 5 Fufs unter dem gewöhnlichen Hochwasser der Süder-See. In neuerer Zeit hat man einzelne noch bedeutend tiefere Flächen dazwischen eingedeicht und trocken gelegt, die man Meere nennt. Von diesen ist hier nicht die Rede, aber wichtig ist die Thatsache, dafs die Marken des Sommerwasserstandes, oder die Tiefe, bis zu welcher aus jenen ältern Poldern das Wasser abgemahlen wird, von Jahrhundert zu Jahrhundert weiter gesenkt werden mufsten.

Die Academie der Wissenschaften zu Haarlem stellte 1759 zur Preisbewerbung die Frage, ob das Sinken des Bodens in der Provinz Holland vergleichungsweise zum Spiegel der Nordsee sich sicher nachweisen lasse. Der Preis wurde Lulolfs zuerkannt. Derselbe bewies durch Zusammenstellung vielfacher Nachrichten und namentlich durch Vergleichung der in verschiedenen Zeiten erlassenen Bestimmungen über die Mühlenpegel, dafs eine solche Senkung wirklich eingetreten sei und noch fortdaure. Dabei wurde freilich vorausgesetzt, dafs diese Mühlenpegel (maalpeil) unverändert in ihrer ursprünglichen Höhe geblieben sind. Diese Annahme ist insofern wohl zulässig, als absichtliche Aenderungen bei der grofsen Wichtigkeit der Festpunkte nicht unbemerkt bleiben konnten, eine Aenderung in der Höhenlage der Deichkrone mit der darin eingegrabenen Marke aber ein ganz undenkbares Resultat geben würde. Der Deich müfste nämlich in diesem Fall zugleich mit der Mühle sich gehoben haben, was doch unmöglich ist. Dagegen kann der Deich, dessen Untergrund gleich Anfangs comprimirt wurde, und der zugleich wegen des freien Zutritts des Wassers von der einen Seite einer zunehmenden Austrocknung nicht ausgesetzt blieb, an dieser allgemeinen Senkung des Binnenlandes nicht Theil nehmen. Das Resultat, zu dem Lulolfs gelangte, war, dafs nach den Erfahrungen seit dem Jahr 1250 das Binnenland in jedem Jahrhundert 17 Zoll herabsinkt*).

---

*) Woltman, Beiträge zur hydraulischen Architectur. IV. Band, Seite 121 ff.

Aehnliche Erscheinungen sind auch in Ost-Friesland bemerkt*). Im Jahre 1605 wurde nämlich das Altbunder Land am Dollard eingedeicht, 1648 mufste für dasselbe schon eine künstliche Entwässerung eingerichtet werden, und 1819 lag es bereits 7 Fufs unter dem Aufsendeich, der inzwischen allerdings etwas, doch unmöglich bis zu dieser Höhe anwachsen konnte.

Die erwähnten Uebelstände und Gefahren, die aus einer zu niedrigen Lage der Polder entspringen, können zuweilen so grofs werden, dafs man sich endlich entschliefsen mufs, Abhülfe zu schaffen, wenn diese an sich auch wieder höchst bedenklich ist. Das Mittel besteht darin, dafs man den Deichen die grofse Höhe nimmt, und sie in Sommerdeiche verwandelt. Für gewöhnliche Springfluthen bieten sie alsdann noch Schutz, sobald aber Sturmfluthen eintreten, fliefst das Wasser in weiten und gehörig gesicherten Ueberlässen ein. Die eingedeichten Flächen füllen sich vollständig mit Wasser, die Gefahr vor Deichbrüchen wird also sicher vermieden und es wird zugleich der Vortheil erreicht, dafs aus dem abgefangenen Wasser, welches bei dem starken Wellenschlage eine grofse Menge Thontheilchen in sich aufgenommen hatte, und das sich zwischen den Deichen klärt, ein bedeutender Niederschlag gewonnen wird. Auf diese Weise wächst das Land, obwohl es eingedeicht ist, nach und nach wieder weiter auf, und erreicht endlich solche Höhe, dafs die Deiche ohne Gefahr über die höchsten Sturmfluthen heraufgeführt werden können. Dafs ein solches Verfahren mit grofsen Unbequemlichkeiten und Nachtheilen für die öconomischen Verhältnisse verbunden ist, bedarf kaum der Erwähnung. Von der Benutzung des Bodens zum Getreidebau mufs man alsdann ganz absehn, auch mufs man für erhöhte Plätze oder Warfen sorgen, auf die das Vieh getrieben werden kann, sobald das Eindringen der See besorgt wird, und auf diesen hohen Stellen müssen hinreichende Vorräthe von Regenwasser gesammelt werden, da alle Gräben der Marsch sich mit Seewasser anfüllen. Endlich müssen auch die Dörfer und einzelnen Höfe auf solchen Aufschüttungen erbaut werden, damit sie vom Wasser nicht zu sehr

*) Reinhold, Hydrographie von Ost-Friesland in Crelle's Journal für die Baukunst. Band XIII.

leiden und bewohnbar bleiben. Die Communication beschränkt sich endlich in solcher Zeit allein auf den Verkehr in Kähnen. Gewiss wird man zu diesem Mittel nur in der äufsersten Noth greifen, und dennoch hat man sich auf der Insel Marken und an der östlichen Seite der Süder-See bei Kampen dazu entschliefsen müssen.

Es war bisher nur von dem Verhalten des Grodens nach seiner Eindeichung die Rede, über die Mittel, wodurch man sein Anwachsen befördern kann, bleibt noch Einiges mitzutheilen. Zuweilen werden schon künstliche Anlagen gemacht, um die Bildung der Watten einzuleiten, dieses geschieht indessen doch nur selten, weil die Erfolge zu unsicher, und die erforderlichen Ausführungen zu kostbar sind. Es kommt vor Allem darauf an, die Bewegung des Wassers, sowol die Strömung, als den Wellenschlag zu unterbrechen und zu mäfsigen, und dieses geschieht, indem man durch Zäunungen oder andre solidere Werke, wie etwa durch Buhnen in der Wasserfläche kleinere abgeschlossene Bassins bildet. Eine ziemlich bedeutende Anlage dieser Art ist wiederholentlich im Oldenburgischen ausgeführt, indem man, um den Jade-Busen schneller zur Verlandung zu bringen, von dessen östlichem Ufer aus ein Werk von nahe einer Meile Länge über die zum Theil noch sehr niedrigen Watte fort nach den Inseln, die Ober-Ahnischen Felder genannt, hinüberführte. Solche Anlagen sind indessen bei Stürmen der Zerstörung in hohem Maafse ausgesetzt und man begnügt sich daher gemeinhin mit einfachern Arbeiten, die selbst auf niedrigen Watten schon einigen Erfolg haben.

In Friesland und am Laauwer See werden auf den niedrigen Watten Flechtzäune normal gegen die Ufer gezogen. Bei heftigem Seegange werden sie zwar beschädigt, oder auch ganz zerstört, doch ist ihre Wiederherstellung nicht kostbar, und indem sie die Bewegung des Wassers in ihren Umgebungen mässigen, befördern sie daselbst den Niederschlag. Ist die Erhöhung so weit erfolgt, dafs das Watt einige Consistenz annimmt, so beginnt die Graben-Arbeit. Man zieht wieder normal gegen das Ufer in Abständen von 2 Ruthen flache Gräben von 5 Fufs Breite und 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs Tiefe, die bis 1000 Fufs lang sind. Die ausgehobene Erde wird dazwischen möglichst gleichmäfsig verbreitet. Auf

diese Art entsteht eine wellenförmige Oberfläche. Man bezweckt dabei vorzugsweise, beim Eintritt der Ebbe in den Gräben selbst, die man Grippen nennt, die thonigen Theilchen aus dem Wasser aufzufangen. Aus diesem Grunde giebt man den Gräben am untern Ende keinen Abflufs, vielmehr werden sie absichtlich gesperrt, damit das Wasser darin lange zurückgehalten wird, und sich vollständig klären kann. Auf diese Art füllen sich die Grippen in kurzer Zeit mit Schlamm an, und derselbe wird alsdann aufs Neue ausgestochen und auf die zwischen liegenden höhern Flächen geworfen. Man kann diese Arbeit drei bis viermal in einem Jahr wiederholen und dadurch allerdings eine merkliche Erhöhung des Watts veranlassen.

In der Provinz Seeland werden solche Anlagen in der Art ausgeführt, dafs man nicht Gräben bildet, in welchen das Wasser zurückgehalten wird, vielmehr stellt man auf dem Watt weite Bassins oder Schlickfänge dar, die denselben Zweck erfüllen sollen. In Abständen von 60 bis 100 Fufs werden normal gegen das Ufer flache Erddämme aufgeworfen, die 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs hoch und seitwärts mit dreifacher oder vierfacher Anlage abgeböscht sind. Damit sie aber vom Wellenschlage weniger leiden, so überdeckt man sie mit einer leicht befestigten Strohlage. Die in solcher Weise gebildeten Felder schliefst man auch auf der äufsern Seite ab, indem man hier eine Lage Faschinen vorlegt, die von drei Flechtzäunen gehalten wird. Diese Faschinen kehren ihre Wipfelenden dem Ufer zu, und ihr Zweck ist vorzugsweise, das Abfliefsen des dünnen Schlamms zu verhindern, der sich in ihnen fangen soll. Die Wirkung dieser Schlickfänge wird sehr gerühmt, doch ist ihre Ausführung und Unterhaltung auch besonders kostbar.

Aehnliche Anlagen empfahl schon Woltman, doch rieth er, die Dämme bis über die gewöhnliche Fluth zu erhöhen, und durch Strauch zu befestigen. Sie sollten nach seiner Angabe 10 Ruthen von einander entfernt sein, und auch seeseitig die einzelnen Felder umschliefsen, indem jedes derselben nur eine schmale Oeffnung behält, durch welche das Wasser aus- und eintreten kann. Die ganze Anordnung würde alsdann sehr nahe mit den früher (Theil I. § 28) beschriebenen Colmationen über-

einstimmen, wie auch die beabsichtigten Wirkungen in beiden Fällen ungefähr dieselben sind.

Begrippungen kommen im Oldenburgischen vielfach vor, und zwar werden sie nicht nur im Busen der Jade fortwährend ausgeführt, sondern man hat sie vor längerer Zeit auch an der Mündung der Weser versucht. Im Allgemeinen befolgt man dabei dasselbe Verfahren, wie in der Provinz Friesland, indem man in dem Watt vertiefte Rinnen oder Gräben darstellt, und dieselben immer aufs Neue aushebt, so oft sie sich angefüllt haben. Diese Grippen sind etwa 10 Fufs breit und 2 Fufs tief, und ihr gegenseitiger Abstand mifst 20 bis 40 Fufs. Man führt dieselben zuweilen sehr weit in das Watt hinaus, namentlich soll dieses in früherer Zeit geschehn sein. Die Arbeiter konnten alsdann nicht mehr zu Fufs nach der Baustelle geschickt werden, weil sonst das Hin- und Hergehn, das auf dem weichen Boden überaus anstrengend ist, zu viel Zeit erfordert, und die Dauer der jedesmaligen Arbeit zu sehr verkürzt haben würde. Sie fuhren daher bei der letzten Ebbe in Kähnen nach der Stelle, wo die Grippungen vorgenommen werden sollten, und konnten, sobald das Wasser weiter zurücktrat, sogleich die Arbeit beginnen, und dieselbe so lange fortsetzen, bis die Fluth die Baustelle wieder erreichte. Zum Ausheben der Erde bedienen sie sich einer Art Schaufel, die jedoch mit dem Stiele einen spitzen Winkel bildet, und einem gewöhnlichen Handbagger ähnlich ist. Man pflegt sogar Dielen mitzunehmen, welche auf den Boden geworfen werden, und worauf die Arbeiter stehn, weil sie sonst in den weichen Schlamm tief einsinken und dadurch in ihren Verrichtungen behindert werden. Gegenwärtig ist man von dieser weiten Ausdehnung der Gräben zurückgekommen, und beschränkt dieselben nur noch auf die Nähe des Ufers und auf die höhern und festern Watte. Man geht damit aber jedesmal über die Grenze der natürlichen Vegetation hinaus. Letztere darf nicht gestört werden, denn ihre Wirkungen sind, wie im Oldenburgischen allgemein anerkannt wird, für die Erhöhung des Bodens weit günstiger, als die künstlichen Mittel, die man zu demselben Zweck anwenden könnte.

Aufserdem verfolgt man hier in neuerer Zeit eine ganz andre Absicht, als oben bezeichnet ist. Man will nämlich durch

die wellenförmige Umgestaltung des Bodens dem Wasser zwar auch Gelegenheit bieten, dafs es in seinen untern Schichten und namentlich in den Gräben selbst sich möglichst beruhigt und den Schlamm absetzt, aber aufserdem betrachtet man die vollständigere Ableitung des Wassers als Hauptzweck dieser Gräben. Dieselben werden daher keineswegs an ihren untern Enden geschlossen, vielmehr wo möglich nach etwas tiefern Rillen oder nach Senkungen in dem Watt geführt, so dafs bei der Ebbe das Wasser recht schnell abfliefst, und der Schlamm während der Zeit, dafs er frei liegt, Gelegenheit hat, sich fester abzulagern, wodurch er der Gefahr entzogen wird, bei der folgenden Fluth, besonders wenn starke Wellenbewegung mit dieser eintreten sollte, wieder fortgespült zu werden.

Diese letzte Rücksicht ist gewifs von grofser Bedeutung. Man darf nämlich nicht unbeachtet lassen, dafs bei Stürmen auch von dem in der Ausbildung begriffenen Watt wieder grofse Massen des bereits niedergeschlagenen Schlammes sich lösen. Dieses wird aber keineswegs dadurch verhindert, dafs das Wasser vielleicht schon stark mit erdigen Theilchen versetzt war, denn bei dieser rein mechanischen Vermengung giebt es keinen Sättigungspunkt. Dagegen ist die Wellenbewegung dem Watt weniger nachtheilig, wenn dessen Oberfläche einigermaafsen ausgetrocknet ist, und dieses wird befördert, wenn man durch kleine Gräben und durch Aufräumung der natürlichen Rillen für den Abflufs des Wassers sorgt.

Am Dollard sind die Anlagen zum Auffangen des Schlicks viel complicirter, indem man nicht nur das Wasser beruhigen, sondern auch eine möglichst sanfte und dennoch vollständige Ausströmung zur Zeit der Ebbe veranlassen will. In dem bereits erwähnten Werk „de Dollard“ sind im fünften Abschnitt diese Arbeiten sehr ausführlich, mit Angabe der verschiedenen Abweichungen, die stellenweise vorkommen, behandelt. Fig. 30 auf Taf. V stellt im Allgemeinen die dort gewählte Anordnung dar. Man bildet kleine oblonge Flächen, deren lange Seiten mit dem Deich parallel und achtmal so lang, als die kurzen sind. Jede derselben wird an den kurzen Seiten einmal durch den etwas erhöhten Weg *A A* und gegenüber durch den Ableitungs-Graben *B B* begrenzt. An den langen Seiten wird jede

durch einen flachen Graben und gegenüber durch einen niedrigen Damm eingeschlossen, der aus dem Auswurf der Gräben gebildet wird und sich an einen Weg anschliefst. Die Gräben sind durch die ausgezogenen Linien, und die Dämme durch kurze Bergstriche in der Figur bezeichnet.

Die Fluth tritt in ihrer zweiten Hälfte mit Heftigkeit ein, und wenn auch der Abzugsgraben zunächst sich mit Wasser füllt, so erfolgt gleich darauf der Ueberstürz über alle niedrigen Querdämme. Sollten dabei Erdmassen abgerissen werden, so bleiben diese auf den nächsten Flächen liegen, und sind daher nicht verloren. Zur Zeit des Hochwassers sinken die schwersten darin enthaltenen Theilchen zu Boden, und namentlich in der Nähe der Oberfläche klärt sich das Wasser am meisten. Dieses tritt beim Beginn der Ebbe wieder über die niedrigen Dämme. Sobald letztere trocken werden, befindet sich hinter ihnen das am meisten getrübte Wasser und dieses fliefst längs den Dämmen *b b* bis zu den Punkten *a*, von wo es in die Abzugsgräben *B B* gelangt. Es mufs also einen weiten Umweg machen, woher seine Geschwindigkeit mäfsig bleibt, und sonach der bereits erfolgte Niederschlag nicht in Bewegung gesetzt wird. Die Wirkungen dieser Anlagen sollen sehr grofs sein, doch ist gewifs die erste Ausführung so wie auch die dauernde Instandhaltung nicht leicht. Um die Dimensionen einigermaafsen beurtheilen zu können, wird die Mittheilung genügen, dafs die einzelnen Flächen 36 bis 75 Quadrat-Ruthen enthalten.

Wenn das Watt in Folge der localen Verhältnisse oder durch die erwähnte Nachhülfe unterstützt, sich endlich soweit erhöht hat, dafs es bei halber Ebbe trocken wird, so stellt sich die erste Vegetation von selbst ein. Jeder Versuch, den fernern Anwuchs noch zu beschleunigen, ist alsdann nicht nur erfolglos, sondern sogar störend. Zwischen den strauchähnlichen Pflanzen, die sich zuerst zeigen, wird die Bewegung des Wassers in weit höherm Grade gemäfsigt, als durch jedes künstliche Mittel. Nunmehr bleibt also das Watt ganz sich selbst überlassen.

Die erste Pflanze, die sich auf dem schlammigen Boden zeigt, ist der Glasschmalz oder die Seekrappe (salicornia herbacea), ein blätterloses Gewächs, dessen sehr saftige vielfach verzweigte

Aestchen aus kurzen Gliedern zusammengesetzt sind. Wenig später zeigt sich auch das Salzkraut (Salsola Kali), das vergleichungsweise zu jenem ein sehr dürres Ansehn hat, und dessen kleine Blättchen stachelförmig zugespitzt sind. Diese beiden Pflanzen, die gruppenweise das noch niedrige Watt dicht überziehn, werden, wenn sie auch ganz ausgewachsen sind, schon bei gewöhnlichen Fluthen beinahe vollständig überdeckt. Auf den niedrigsten Stellen kommen sie deshalb auch nicht zur Blüthe, vielmehr geschieht dieses nur, wenn sie auf höhern Watten stehn, wo sie zum Theil über Wasser bleiben. Sie bilden an der Jade, sowie auch am Dollard ausgedehnte, dichte Gebüsche, nach deren Begrenzung man die Höhe der Watte sicher beurtheilen kann. Im Oldenburgischen bezeichnet man beide Pflanzen-Arten, obwohl sie ganz verschieden sind, mit dem gemeinschaftlichen Namen Quendel. Man findet beide, doch nur vereinzelt, auch am Strande der Ostsee. Sie werden zur Soda-Fabrikation benutzt.

Ist das Watt so hoch angewachsen, dafs es nur noch 2 Fufs unter gewöhnlicher Fluth liegt, so findet sich eine andre Pflanze ein, die es gleichfalls dicht überzieht. Dieses ist eine Sternblume (aster tripolium). Sie hat solche Höhe, dafs sie selbst die gewöhnlichen Springfluthen überragt. Es gewährt einen eigenthümlichen Anblick, ihre theils gelben und theils rothen Blüthen zur Zeit des Hochwassers wenig über den Wellen in zahlloser Menge hin- und herschwanken und oft darauf schwimmen zu sehn.

Wenn endlich der Boden die Höhe der gewöhnlichen Fluthen nahe erreicht hat, er also zur Zeit der todten Fluthen einige Tage hindurch vom Wasser nicht bedeckt wird, so fängt er an, sich mit einer Grasnarbe zu überziehn, und zwar mit demselben Grase, das auch später den Aufsendeich bedeckt, und ein sehr nahrhaftes Viehfutter bildet. Dieses sind Rispengräser (Poa maritima und Poa laxa). Sobald dieses Gras eine dichte Narbe bildet, nennt man das bisherige Watt einen Groden.

Die benannten Pflanzen sind keineswegs die einzigen, die man hier vorfindet, doch die übrigen zeigen sich nur seltner, während diese in ausgedehnten Gruppen neben einander wachsen, und vorzugsweise die Flora auf diesem jungen Boden bilden.

Es sind aber vorstehend nur die untern Grenzen ihres Vorkommens angegeben, weiter landwärts giebt es für sie keine Grenze. Salicornia und noch häufiger Salsola sieht man auch zwischen dem Rispengrase wachsen. Sämmtlich tragen sie aber zur Beruhigung und daher zur vollständigern Klärung des Wassers wesentlich bei, und in gleichem Maafse schützen sie auch die Thontheilchen, die zwischen ihnen niedergeschlagen sind, und verhindern, dafs dieselben bei spätern Fluthen wieder vom Wasser gehoben werden. Das Anwachsen der Watte erfolgt aller künstlichen Mittel unerachtet bis zur halben Fluthhöhe viel langsamer, als sie später sich erhöhen, wenn die erste Vegetation sie überzogen hat.

Schliefslich mag hier noch erwähnt werden, dafs der Jade-Busen auf der westlichen Seite am stärksten anwächst, und dafs aus der Vergleichung der nach und nach ausgeführten neuen Eindeichungen das Ufer hier durchschnittlich in jedem Jahr um 40 Fufs vortritt. Noch beträchtlicher sind die Verlandungen am Dollard, woselbst der jährliche Anwachs sogar durchschnittlich die Breite von 64 Fufs hat, und zwar nicht nur vor dem westlichen, sondern auch vor dem östlichen Ufer.

Dieses unaufhaltsame und durch künstliche Anlagen noch beförderte Vorrücken der Ufer, wodurch die Ausdehnung der Meerbusen sich stetig verkleinert, bedroht ohne Zweifel die schiffbare Verbindung derselben mit der offenen See. Die tiefen Rinnen, welche diese Verbindung bilden, werden nämlich allein durch die starken Strömungen offen erhalten, welche bei jeder Fluth und Ebbe die Busen füllen und entleeren. Sobald aber letztere sich verkleinern, vermindert sich auch in gleichem Maafse die hin- und herfliefsende Wassermasse und die Strömung wird schwächer. Als ich den Auftrag erhielt, in hydrotechnischer Beziehung das Project für den Kriegshafen an der Jade (Wilhelmshaven) aufzustellen, wurde dieser Umstand sorgfältig in Betracht gezogen. Es ergab sich indessen, dafs nach den bisherigen Erfahrungen noch kein Grund zu ernstlicher Besorgnifs vorliegt, dafs vielmehr etwa während zwei Jahrhunderten die Verhältnisse sich nicht wesentlich nachtheiliger gestalten können, als sie jetzt sind. Dabei erwähnte ich noch, dafs wenn man der Strömung, die bisher ganz sich selbst überlassen war, die

nöthige Aufmerksamkeit zuwenden, also durch gewisse Hülfsmittel, die bereits anderweit unter ähnlichen Umständen mit Erfolg angewendet sind, sie zu reguliren versuchen, und nöthigen Falls durch angemessene Beschränkung des $1^1/_2$ Meilen langen Halses den Strom verstärken wollte, wobei noch werthvolle Landgewinnung in Aussicht steht, so würde die Existenz des Hafens auf einen viel längern Zeitraum gesichert sein. Die zunächst in Aussicht gestellte Dauer von 200 Jahren wurde indessen schon für genügend erachtet, und der Bau nach meinem Project ausgeführt.

§ 16.

Ausführung der Seedeiche.

Die Anordnung und Construction der Seedeiche stimmt in vielfacher Beziehung mit derjenigen der Flufsdeiche so genau überein, dafs ein näheres Eingehn in alle Einzelheiten entbehrlich erscheint. Es wird daher hier nur in soweit der Deichbau behandelt werden, als der Wellenschlag, die Fluth und Ebbe und die dadurch veranlafste verschiedene Richtung des Stroms besondere Berücksichtigung fordern.

Insofern bei Ueberfluthung eines Deichs nicht nur der dahinter belegene Polder der Inundation ausgesetzt, sondern auch der Deich selbst durch das darüber stürzende Wasser angegriffen, und leicht zerstört wird, so kommt es zunächst darauf an, die erforderliche Kronenhöhe des Deichs zu bestimmen. Dieses kann im Allgemeinen bei Seedeichen mit gröfserer Sicherheit als bei Stromdeichen geschehn, und namentlich wenn sie eine Niederung umschliefsen sollen, die bisher noch offen war. Der Grund dafür ist bereits oben angegeben: eine Beschränkung des Durchflufsprofils, wodurch ein Aufstau veranlafst werden könnte, kommt hier nie vor, und eben so wenig kann in Folge von Eisversetzungen der Wasserstand sich zu ungewöhnlicher Höhe erheben. Es kommt nur darauf an, dafs man die Höhen der gewöhnlichen Fluthen, und die Anschwellungen kennt, welche Stürme veranlassen, und aufserdem auch die Höhe der Wellen vor den Ufern berücksichtigt.

Der Stand des gewöhnlichen Hochwassers, so wie auch der Springfluthen muſs zunächst aus sorgfältigen und ausgedehnten Beobachtungen hergeleitet werden. An den Mündungen von Strömen und in Meerbusen geben sich, wie gleichfalls schon nachgewiesen, zuweilen manche locale Einflüsse auf den Fluthwechsel zu erkennen, doch pflegen dieselben in der Weite und Richtung der Fluthrinnen ihre Erklärung zu finden, woher man leicht entnehmen kann, in wiefern sie für die einzelnen Punkte des Deichs zu berücksichtigen sind. Nichts desto weniger pflegt man den Entwürfen zu neuen Eindeichungen, namentlich wenn sie sich nicht unmittelbar an schon bestehende Anlagen dieser Art anschlieſsen, vollständige und gehörig ausgedehnte Beobachtungsreihen zum Grunde zu legen.

Sodann ist zu untersuchen, wie weit die höchsten Wasserstände sich über das gewöhnliche Hochwasser erheben. Hierbei ist der Einfluſs, den die Richtung der Küste und ihre Gestaltung ausübt, schon viel erheblicher, insofern diese Wasserstände nicht allein von der Höhe der Fluthen, sondern in groſsem Maaſse auch von den Stürmen herrühren. In den Niederlanden werden die Sturmfluthen vom 14. und 15. Januar 1808, vom 4. Februar 1825 und vom 24. Februar 1837 in solchen Untersuchungen als diejenigen betrachtet, wo die Wasserstände des Meers die gröſste bekannte Höhe erreichten. Letztere beträgt an den Niederländischen Küsten ohne Rücksicht auf den Wellenschlag $7\frac{1}{2}$ bis 9 Fuſs über gewöhnlichem Hochwasser, und der Unterschied von $1\frac{1}{2}$ Fuſs zwischen diesen beiden Angaben bezeichnet den Einfluſs der Lage der Küste gegen die Windrichtung. Die Fluth steigt am höchsten, wenn der Sturm von der Seeseite normal die Küste trifft.

Endlich müssen die Deiche noch so weit erhöht werden, daſs die Wellen nicht hinüberschlagen. Hierbei ist wieder die Richtung der Küste von groſsem Einfluss, so wie auch andre Umstände den Wellenschlag verstärken, oder mäſsigen. Ist die Küste ostwärts gekehrt, oder wird sie von den westlichen Stürmen, die an der Deutschen Küste der Nordsee am heftigsten sind, nicht getroffen, so genügt es, die Deiche 2 bis $2\frac{1}{2}$ Fuſs über die bekannte höchste Fluth zu legen. Auf den westlichen Küsten ist die Höhe der Wellen dagegen viel gröſser. In der Provinz

Seeland hat man beobachtet, dafs sie sich bis 8 Fufs über den gleichzeitigen mittlern Stand des Meers erheben. Der Wellenschlag ist auch von der Ausdehnung und Höhenlage des Vorlandes abhängig. Wo dieses schmal und niedrig ist, oder vollständig fehlt, treffen die Wellen mit voller Kraft und in ihrer ganzen Höhe den Deich, derselbe kann dagegen merklich niedriger gehalten werden, wenn ein weites Vorland ihn schützt.

Nach diesen Ermittelungen pflegt man die Höhe eines Deichs so zu bestimmen, dafs die Krone mit dem Kamm der Wellen zur Zeit der stärksten und höchsten Sturmfluthen in gleichem Horizont liegt. Eine noch weitere Erhöhung würde sich nicht rechtfertigen, da die Kosten der Anlage schon unter dieser Voraussetzung sehr bedeutend zu sein pflegen, und nahe wie die Quadrate der Höhen wachsen. Die Krone bleibt aber, wenn sie dieser Bedingung entspricht, keineswegs trocken, denn nicht nur spritzt das Wasser hinauf, sondern einzelne Wellen laufen auch über sie fort, und ergiefsen sich in das Binnenland. Nichts desto weniger ist hierdurch doch einer eigentlichen Ueberströmung vorgebeugt und der Deich in dieser Beziehung vor Beschädigungen genügend gesichert.

Einige Angaben über die Höhe der Seedeiche werden nicht ohne Interesse sein, doch mufs bemerkt werden, dafs diese Höhe selten auf gröfsere Länge dieselbe bleibt, vielmehr immer verändert werden mufs, so oft die Richtung des Deichs sich ändert, oder die Beschaffenheit des Vorlandes wechselt, oder vielleicht auch einzelne Stellen vorzugsweise gesichert werden sollen. So liegt der Deich bei Vliessingen 16 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser, während er weiter ostwärts bei Rammekens, in der Entfernung einer starken halben Meile schon $6\frac{1}{2}$ Fufs niedriger ist. Der Westcappelsche Deich, der auf der Westseite die Fortsetzung desselben Deichs bildet, liegt an den am meisten ausgesetzten Stellen 15 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser. Der Schaardeich auf der Insel Schouwen, westwärts von Brouwershaven liegt auf $20\frac{1}{2}$ Fufs, und dieses ist die gröfste Höhe, die in den Niederlanden vorkommt. Der oben beschriebene Deich vor dem Helder wechselt zwischen 12 und 15 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser, durchschnittlich liegen aber die Deiche an der Niederländischen Küste auf etwa $11\frac{1}{2}$ Fufs.

Die Krone der Seedeiche kann nicht füglich als Fahrweg benutzt werden, weil zur Zeit eines Sturms die Passage darauf zu unbequem und wegen der aufschlagenden Wellen, vor denen die Pferde zu scheuen pflegen, auch zu gefährlich sein würde. Aus diesem Grunde bedarf die Krone nicht einer so grofsen Breite, als auf Flufsdeichen, und man hält, wenn das Profil im Uebrigen normalmäfsig ist, eine Breite von 10 Fufs für genügend. Nichts desto weniger mufs besonders bei höhern Deichen dafür gesorgt werden, dafs das Material, welches zu ihrer Instandsetzung erforderlich ist, bis nahe zur Höhe der Krone angefahren werden kann. Der Weg, mit dem sie zu diesem Zweck versehn sind, liegt auf einem Banket an der Binnenseite der Krone. Aus diesem Grunde kann man, wie vielfach geschieht, dieses Banket als die eigentliche Krone des Deichs, und jene Erhöhung, die als Krone bezeichnet wird, nur als eine Kade oder als eine Ueberhöhung betrachten, die nur selten in Anspruch genommen wird. Jedenfalls mufs die Krone, besonders wenn sie eine bedeutende Breite hat, mit genügendem Quergefälle versehn werden, damit das aufschlagende Wasser leicht abfliefst, und hieraus erklärt es sich, dafs eine breite und horizontale Krone gar nicht existirt, vielmehr die obere Fläche nach einer, gewöhnlich nach der Seeseite ansteigt, und der Rand derselben, der sie gegen die Dossirung begrenzt, der einzige Theil des Deiches ist, der die erforderliche Höhe hat, und das Ueberschlagen der Wellen verhindert. Bei den Deichen der Niederländischen Küste, die freilich grofsentheils wegen der steilen äufsern Dossirungen sehr starken Beschädigungen ausgesetzt sind, pflegen die Kronen oder die fast eben so hohen Bankete 18 bis 24 Fufs breit, und oft Haupt-Verbindungswege zu sein. Sie werden entweder als Klinkerstrafsen behandelt (Fig. 31), oder mit kleinen Seemuscheln beschüttet, die eine sehr ebene, harte und für leichtes Fuhrwerk hinreichend feste Strafse bilden. Auf die Unterhaltung derselben wird grofse Aufmerksamkeit verwendet, woher jedes Geleise sogleich ausgefüllt, und wenn die Erhöhung des Deiches nöthig werden sollte, die ganze Decke sorgfältig entfernt wird.

Diese bedeutende Breite gewährt nicht nur bei vorkommenden Beschädigungen eine grofse Erleichterung in der Anfuhr des

Materials, sondern die Einbrüche der Dossirung auf der äufsern Seite sind weniger bedenklich, und endlich kann man, wenn etwa schleunig eine Aufkadung vorgenommen werden mufs, das dazu nöthige Material von der Krone des Deichs selbst entnehmen.

Die äufsern und innern Dossirungen der Seedeiche werden, wie die der Stromdeiche, in gleicher Neigung vom Fufs bis zur Krone, oder in der ganzen Höhe als ebene Flächen ausgeführt. Vorschläge zur Wahl andrer Formen für die äufsere Dossirung sind zwar gemacht worden, wie auch schon im zweiten Theil § 91 erwähnt ist, doch hat man sich hierzu, wie es scheint, nur selten entschlossen, wenn nicht verschiedene Arten der Deckung in Anwendung gekommen sind.

Nimmt man nur auf die Wirkungen der Wellen von bestimmter Höhe Rücksicht, so ergiebt sich freilich aus der oben mitgetheilten Wellentheorie, dafs die Angriffe im obern Scheitel stärker als im untern sind, und zwischen beiden ein allmähliger Uebergang statt findet. Hiernach würde sich empfehlen, der äufsern Dossirung einen convexen Querschnitt zu geben, oder dieselbe am Fufs steiler ansteigen zu lassen, als weiter aufwärts. Dieses würde sich auch noch begründen, wenn der Deich nicht von regelmäfsig schwingenden, sondern von auflaufenden Wellen getroffen wird. Franz Gerstner hat die Curve, welche das Querprofil des Deichs in dieser Beziehung haben müsste, sehr eingehend untersucht*), und zwar sowol für den Fall, dafs die Decke aus Steinen besteht, die durch ihr eignes Gewicht den nöthigen Widerstand leisten, als auch wenn nur auf die Reibung der Bestandtheile der Decke Rücksicht genommen wird. Er kommt für beide Fälle zu zwei verschiedenen Curven und theilt dabei tabellarisch die betreffenden Ordinaten der Curve mit, indem er zugleich angiebt, wie die constanten Factoren unter den jedesmaligen Verhältnissen zu bestimmen sind.

Dieser Auffassung steht indessen das wichtige Bedenken entgegen, dafs der Deich nicht nur gegen einen bestimmten Wellenschlag geschützt werden soll, sondern gegen alle Angriffe

*) Theorie der Wellen samt einer daraus abgeleiteten Theorie der Deichprofile. Prag 1804.

der See. Diese werden aber viel häufiger in geringerer Höhe, als in der grössten erfolgen, woher die Veranlassung zu Beschädigungen in der Nähe des Deichfufses keineswegs als geringer angesehn werden darf. Hierzu kommt noch, dass der obere Theil der äussern Dossirung früher aus dem Wasser tritt und länger frei bleibt, als der untere, woher Ausbesserungen sich darin leichter ausführen lassen.

Hiernach rechtfertigt es sich, dafs man allgemein für die ganze Höhe dieselbe Neigung wählt, zuweilen sogar sie unten noch flacher werden läfst. Scharfe Kanten werden indessen allgemein vermieden, neben der Krone findet daher eine sanfte Abrundung statt.

Im Allgemeinen gelten für Seedeiche dieselben Regeln, die im zweiten Theil dieses Handbuchs für Stromdeiche angegeben wurden, vorausgesetzt, dass sie aus guter Erde bestehn und durch ein hinreichend breites und hohes Vorland geschützt sind, auch nicht locale Verhältnisse eine besondre Verstärkung fordern. Beraste Böschungen von dreifacher Anlage auf der äufsern Seite sind alsdann genügend. Ein solcher Deich widersteht selbst dem heftigsten Wellenschlag, ohne eines sonstigen Schutzes zu bedürfen, wie man im Oldenburgischen, in Ostfriesland und weiter westlich bis zum Lauwer See bemerken kann. Grofsentheils sind indessen diese Deiche in neuerer Zeit auf vollkommen reifem Groden aufgeführt, und werden, wenn sie auch zuweilen einem starken Angriff ausgesetzt sind, dennoch vergleichungsweise mit andern weniger bedroht. Für Deiche, die der volle Wellenschlag der See trifft, und namentlich wenn das Vorland ganz oder theilweise fehlt, auch wohl Seesand statt der zähen Klaierde zu ihrer Aufschüttung benutzt werden mufs, sind jene Böschungen dagegen nicht genügend, und man mufs zu andern kräftigern und kostbarern Schutzmitteln greifen, um gefahrdrohenden Beschädigungen und Durchbrüchen vorzubeugen. Von diesen Mitteln wird im Folgenden die Rede sein, hier wäre nur zu erwähnen, dafs es nothwendig ist, die äufsern Böschungen um so flacher zu halten, je weniger Zusammenhang die Erde hat.

Caland nimmt drei Classen der Seedeiche an. Zu der ersten rechnet er diejenigen, die unmittelbar gegen die Nordsee gerichtet und den heftigsten Stürmen ausgesetzt sind, auch kein

Vorland vor sich haben, wie der Westkappelsche und der Westwaterings-Deich (westlich von Vliessingen) auf der Insel Walcheren, oder der bereits erwähnte Scharren-Deich auf der Insel Schouwen. Deiche dieser Art sollen mit Rücksicht auf den Umstand, dafs sie grofsentheils aus Sand bestehn, durchschnittlich zehnfache Anlage in der äufsern Böschung haben. Er empfiehlt jedoch, dieselbe nicht gleichmäfsig in der ganzen Höhe darzustellen, sondern in der Art, wie Woltman bereits früher vorgeschlagen hatte, den untern Theil steiler, als den obern zu halten, also die Dossirung vom Fufs nach der Krone nach und nach flacher werden zu lassen. Diese Anordnung rechtfertigt er dadurch, dafs der Wellenschlag um so heftiger und zerstörender wird, als der Wasserstand höher ist. Der Fufs soll daher nur mit sechsfacher Anlage ansteigen, aber diese bald in eine etwas flachere übergehn, und Aenderungen im gleichem Sinn sich so vielfach wiederholen, dafs die ganze Böschung durchschnittlich zehnfache Anlage erhält. Dabei soll aber noch darauf Rücksicht genommen werden, dafs die beste Erde sorgfältig zur Bekleidung der Dossirungen benutzt wird, um hier die Bildung eines festen Rasens möglich zu machen. Die Grasnarbe kann aber unter allen Umständen nur bis gegen das gewöhnliche Hochwasser herabgeführt werden. Setzt sich daher die Dossirung des Deichs noch tiefer fort, so mufs dieser Theil schon als Seeufer behandelt und auf andre Weise gesichert werden.

Aehnliche Rücksichten werden auch für die zweite Classe der Deiche empfohlen, nämlich für solche, die entweder an mehr geschützten Stellen, oder an den Mündungen der Seegatte und Ströme liegen. Sie sollen äufsere Böschungen erhalten, die durchschnittlich fünffache Anlagen haben. Für diejenigen Deiche endlich, welche besonders günstig liegen und keinem starken Angriff ausgesetzt sind, genügt in der äufsern Böschung die dreifache und zum Theil sogar die zwei und einhalbfache Anlage.

Was die Binnendossirung betrifft, so begnügt man sich in vielen Fällen schon mit einfacher Anlage, doch ist diese selbst bei sehr gutem Boden nur wenig haltbar. Wenn die Erde mit Sand versetzt ist, so ist mindestens die ein und einhalbfache Anlage zu wählen, und bei reinem Sande mindestens

die zweifache, weil ganz abgesehn von äufsern Beschädigungen schon der Regen in steilern Böschungen Einrisse verursacht Aufserdem mufs man immer darauf Rücksicht nehmen, dafs nur die Grasnarbe diesem Theil des Deichs Schutz bietet, dafs aber eine solche auf den steilen Flächen sich nicht regelmäfsig ausbildet. Selbst bei ein und einhalbfacher Anlage überzieht der Rasen noch nicht in ebener und ununterbrochener Fläche die Dossirung, oder wenn dieses auch Anfangs geschehn ist, so zeigen sich darin doch bald Vertiefungen, die sich besonders leicht ausdehnen, wenn man, wie gewöhnlich, bei trockner Witterung den Deich beweiden läfst.

Bei Seedeichen verbietet sich aufserdem die Anwendung sehr steiler Binnendossirungen dadurch, dafs einzelne Wellen herüberschlagen, und die Wassermassen derselben Einrisse veranlassen. Deshalb dürfte die zweifache Anlage vorzugsweise zu empfehlen sein. Diese genügt aber nicht entfernt, wenn der Deich zuweilen überströmt wird. Solche Deiche kommen, wie bereits erwähnt, hin und wieder in den Niederlanden vor. Der Rheinländische Slaperdeich zwischen Amsterdam und Haarlem, der während anderthalb Jahrhunderten bei allen ungewöhnlich hohen Wasserständen und oft sehr stark überströmt wurde, leistete immer genügenden Widerstand und bedurfte keiner kostbaren Instandsetzungen, seitdem die Binnendossirung eine eilfbis zwölffache Anlage erhalten hatte. Dieselbe flache Böschung hat man auch in den Jahren 1825 und 1826 den Ueberlafsdeichen am Süder-See in der Provinz Over-Jjssel gegeben und diese haben zum Theil im ersten Winter schon starke Ueberströmungen ohne Beschädigung ausgehalten, einer derselben in der Nähe von Kampen wurde aber im obern Theil fortgespült, ohne dafs eine tiefe Rinne, oder ein Kolk, wie bei sonstigen Durchbrüchen, sich bildete.

Sorgfältige Wahl des Materials und gute Ausführung trägt wesentlich zur Erhaltung der Deiche bei. Es gelten in dieser Beziehung für Seedeiche ungefähr dieselben Regeln, wie für Stromdeiche, doch kommen wegen der localen Verhältnisse bei den erstern manche Rücksichten in Betracht, die bei den letztern unbeachtet bleiben dürfen. Wo ein junger, gehörig angewachsener Groden eingedeicht werden soll, findet man

jedesmal in unmittelbarer Nähe den Marschboden, der sich zu Deichschüttungen vorzugsweise eignet, er besteht aus Thon, der mit vielen feinen vegetabilischen Theilchen versetzt ist. Derselbe findet sich auch vorzugsweise in allen Marschen, da man ihn aber bei gröfsern Reparaturen und selbst bei gewöhnlicher Unterhaltung der Deiche aus dem Binnenlande nicht entnehmen kann, so wird man auf das Material angewiesen, welches der Aufsendeich liefert, oder welches man sonst mit den mindesten Kosten beschaffen kann. Dieses ist der Grund, dafs man zuweilen und sogar bei den wichtigsten Deichen gezwungen ist, Erdarten zu verwenden, die an sich wenig brauchbar sind.

Demnächst ist die mit Sand und vegetabilischen Stoffen versetzte Acker- oder Gartenerde noch sehr geeignet, obwohl sie dem Angriff der Wellen weniger widersteht, als der reine Thon. Ihre Theilchen sind in sich nicht so fest verbunden, dafür lagern sie sich aber bei der Schüttung dichter, und es tritt dabei nicht die Gefahr ein, dafs beim Zusammentrocknen Spalten und Risse im Innern sich bilden, was bei der Klaierde zuweilen geschieht, und wodurch starke Quellungen veranlafst werden.

Sehr sandiger Boden und selbst reiner Sand mufs zuweilen zu Deichen verwendet werden, wenn kein andres Material beschafft werden kann. Derselbe hat gar keinen Zusammenhang, und sobald er vom Wellenschlage angegriffen wird, pflegen die Zerstörungen übermäfsig grofs zu sein. Dazu kommt noch der Uebelstand, dafs das Wasser durchsickert und sonach oft Quellungen eintreten. Nichts desto weniger findet beim Sande doch der günstige Umstand statt, dafs er ein grofses specifisches Gewicht hat, und sich daher weder hebt, noch auch leicht fortgeschoben werden kann. Wenn man, wie in der unmittelbaren Nähe der See, zuweilen gezwungen ist, den Deich aus reinem Sande aufzuführen, so müssen wenigstens seine Dossirungen, und vorzugsweise die äufsere Böschung mit einer starken Lage besserer Erde überdeckt werden, um eines Theils den Sand vor dem Wellenschlage zu sichern, sodann aber auch um hier eine kräftige Grasnarbe zu bilden, die auf dem reinen Sande weder dargestellt, noch auch erhalten werden kann. Im Folgenden werden einige Beispiele davon mitgetheilt werden.

Moorerde und vollends Torf werden beim Deichbau nicht

verwendet, weil bei diesen nicht nur alle Uebelstände wie beim Sande eintreten, sondern sie aufserdem auch so leicht sind, dafs sie nahe ihr ganzes Gewicht im Wasser verlieren, und zuweilen sogar darauf schwimmen. Dazu kommt noch, dafs sie beim Trocknen sehr stark schwinden, und alsdann Risse in dem Deich entstehn, die bei hohen Fluthen grofse Wassermassen hindurchlassen. Wenn diese Risse sich gewöhnlich nach einiger Zeit auch wieder schliefsen, so kann es doch geschehn, dafs die Quellungen schon vorher so viel Material ausgespült haben, dafs der Deich dadurch in Gefahr kommt. Diesen Erfahrungen gegenüber darf indessen nicht unerwähnt bleiben, dafs man vor zehn Jahren in Ermangelung andern Materials bei Karkeln am Curischen Haff versuchsweise eine kleine Fläche mit einem schwachen und sehr steilen Deich aus lockerer Moorerde umschlofs, und dafs derselbe vom Wellenschlage des Haffs nicht beschädigt wurde, auch den höhern Wasserstand abhielt. Die überaus üppige Vegetation, die sich von selbst darauf bildete, trug wahrscheinlich wesentlich zu seiner Befestigung bei. Auch der Torf findet zuweilen beim Deichbau eine eigenthümliche Anwendung, indem man daraus Mauern bildet, wogegen der Deich sich lehnt, doch ist dieser Schutz wenig sicher und zugleich kostbar, indem man ihn in jedem Jahr erneuen mufs. In dieser Weise wurde der überaus steile Deich vor der Kirche Moorlose an der Weser in jedem Winter gesichert, bis er durch die Stromcorrectionen ein hinreichend breites Vorland gewann, und gehörig profilirt werden konnte.

In neuster Zeit hat der Baumeister Schelten in Esens über die Erfordernisse und die Art der Prüfung der zu Seedeichen zu verwendenden Erdarten eingehende Untersuchungen angestellt*). Bei dem Sturm im November 1872 war der aus Seesand aufgeführte Deich vor der Wessecker-Grubener Niederung in Holstein, der Insel Fehmarn gegenüber, zerstört worden. Zur Wiederherstellung desselben konnte der Seesand aus unmittelbarer Nähe entnommen werden, es entstand aber die Frage, ob es nicht zweckmäfsiger sei, eine mehr widerstandsfähige Erde aus

*) Ueber die Güte und Widerstandsfähigkeit von Deichmaterialien, in der Zeitschrift für Bauwesen. 1877. Seite 351.

etwas gröfserer Entfernung herbeizuschaffen, und man mufste sich entscheiden, welche von diesen man zu wählen hätte, um ohne zu grofse Vermehrung der Kosten die nöthige Sicherheit zu gewinnen.

Vier und vierzig verschiedene Erdarten wurden untersucht, und die damit angestellten Proben oder Messungen bezogen sich:

1) Auf den Gehalt an Sand. Die Erde wurde vollständig getrocknet, alsdann pulverisirt und ihr Volum in einer Glasröhre gemessen. Demnächst wusch man sie so lange aus, bis das Wasser nicht mehr getrübt war. Der Rückstand wurde aufs Neue getrocknet, zerrieben und in dieselbe Röhre geschüttet, wobei das Raum-Verhältnifs des Sandes gemessen werden konnte. Der wesentliche Nutzen des Sandes in Betreff des Schwindens und Reifsens beim Trocknen, wird durch den verminderten Widerstand gegen die Einwirkung des Wassers aufgehoben, sobald er mehr als 30 bis 40 Procent beträgt. Am vortheilhaftesten ist das Gemenge bei 15 bis 18 Procent, wobei die Sandkörnchen sich nicht mehr unmittelbar berühren. Grober Kies und besonders Steine, dürfen unbedingt darin nicht vorkommen.

2) Auf das specifische Gewicht. Solange dasselbe merklich gröfser, als 1 ist, hat es wenig Einflufs auf die Festigkeit des Deichs.

3) Auf den Kalkgehalt. Derselbe wurde geschätzt nach der Höhe der Schaumbildung, die ein Tropfen Salzsäure veranlafste. Die Versuche liefsen nicht erkennen, dafs die gröfsere oder geringere Menge des kohlensauren Kalkes auf die mechanischen Eigenschaften der Erde von Einflufs ist.

4) Auf das Schwindemaafs beim Trocknen. Gleiche Prismen, in der natürlichen Erdfeuchtigkeit dargestellt, wurden nach dem Trocknen aufs Neue sorgfältig gemessen. Beträgt das Schwinden mehr als 6 bis 7 Procent, so wurde bei frühern Verwendungen solcher Erdarten schon für möglichste Compression der aufgebrachten Lagen gesorgt.

5) Auf die rückwirkende Festigkeit bei Druckproben. Hierbei

gab sich die schädliche Einwirkung eines starken Sandgehaltes auffallend zu erkennen.

6) Auf den Widerstand gegen die Einwirkung stehenden Wassers. Trockne Würfel von bestimmter Gröfse wurden in Wasser versenkt und die Zeit beobachtet, in welcher sie vollständig zerfielen.

7) Desgleichen gegen bewegtes Wasser. Diese Probe erfolgte in der Art, dafs aus einer bestimmten Höhe Wasser auf dieselbe Stelle der Oberfläche träufelte, und die Tropfen gezählt wurden, bis der erste Angriff sich zeigte. Bei diesen, wie bei den Versuchen in stehendem Wasser zeigte sich die starke Beimengung von Sand wieder sehr nachtheilig.

8) Auf das Austrocknen der Erde. Hierauf legt der Verfasser besondres Gewicht. Er formte im Zustande der Erdfeuchtigkeit Würfel von 1 Centimeter Seite und beobachtete die Anzahl von Stunden, bis ohne Sonnenschein und Wind die Oberfläche trocken wurde. Wenn dieses in 30 Stunden nicht geschah, hielt er die Erde für ganz untauglich zum Deichbau.

Schliefslich spricht Schelten den Wunsch aus, dafs ähnliche Untersuchungen auch ferner angestellt werden möchten, und gewifs erscheint dieses zur Aufklärung mancher Zweifel sehr nöthig. Besonders wäre aber zu empfehlen, dafs auch die chemische Zusammensetzung der Erdarten alsdann berücksichtigt würde.

Bei Ausführung der Deiche ist vorzugsweise dahin zu sehn, dafs alle Theile der Schüttung sowol unter sich, als mit dem Untergrunde in innige Verbindung gebracht werden. Zu diesem Zweck wird der Boden von dem Rasen entblöfst, auch beseitigt man bis zu gröfserer Tiefe die Wurzeln der Bäume, Sträucher und der andern Gewächse, und lockert die Erde nicht nur in der Oberfläche mit der Hacke auf, sondern gräbt sie um, oder pflügt sie auf, und besonders geschieht dieses, wenn sie recht fest und hart ist. Die Erde, die zur Schüttung benutzt wird, mufs gleichfalls ganz rein von fremden Stoffen sein, weil neben solchen leicht Wasseradern sich bilden. Man bringt sie in dünnen Lagen auf, die nicht stärker als etwa 6 Zoll sind,

und jede Lage mufs, bevor die folgende darüber geschüttet wird, möglichst comprimirt und mit der darunter befindlichen verbunden werden. Dieses geschieht entweder schon beim Aufbringen der einzelnen Lagen, indem man sich dabei kleiner Wagen oder Karren bedient, die mit Pferden oder Ochsen bespannt sind. Sowol unter den Hufen der Zugthiere, als unter den Rädern erfolgt alsdann die Compression der bereits aufgeschütteten Lage. Damit jedoch diese Befestigung sich über die letztere vollständig ausdehnt, so dürfen die Karren nicht in demselben Geleise bleiben, wobei allerdings die Anfuhr etwas erleichtert wird, vielmehr müssen die Pferde bald hier und bald dort geführt werden, um die ganze frisch angeschüttete Schicht zu treffen und durchzuarbeiten. Es ist auch nothwendig, die entstandenen tiefern Geleise immer sogleich wieder auszuebnen. Holzbahnen dürfen aber nicht benutzt werden, weil gerade das Einsinken der Pferde und Wagen zur Befestigung der Schüttung dient. Wenn dagegen die Erde durch Menschen in Karren angeschoben wird, was nicht leicht geschieht, so ist man gezwungen, Laufdielen zu benutzen, weil sonst die Arbeit gar zu schwierig sein würde. In diesem Fall mufs noch besonders für die Compression und dichte Ablagerung der einzelnen Erdschichten durch Abrammen gesorgt werden.

Wie vorsichtig man indessen auch die Erde aufgebracht und für ihre dichte Ablagerung gesorgt hat, so tritt dennoch in dem fertigen Deich jedesmal ein sehr merkliches Sacken ein, und zwar ist dieses um so stärker, je fetter der Thon ist, den man verwendet. Auch hat die Menge des darin enthaltenen Wassers wesentlichen Einflufs auf das Sacken des Deichs. Hierdurch begründet sich die Regel, dafs man, soviel es geschehn kann, mit der Schüttung nur langsam vorgehn darf, und jede neue Lage so lange frei liegen bleiben mufs, bis sie ziemlich trocken geworden ist. Woltman meint, dafs Deiche aus Klaierde, die mit Benutzung von Pferden aufgeführt werden, nur den zwanzigsten Theil ihrer Höhe verlieren, dagegen solche, die mit Handkarren geschüttet sind, den zehnten und sogar den achten Theil. Nach den in Holland gemachten Erfahrungen ist die Sackung indessen viel bedeutender und selbst im ersten Fall dem zehnten Theil der Höhe gleich, sie erreicht aber nicht selten sogar den siebenten Theil.

Dieses starke Sacken ist indessen, wie schon oben erwähnt, nicht allein die Folge von der dichtern Ablagerung der Erdtheilchen, aus denen der Deich besteht, sondern auch von dem Sinken des Untergrundes, der von der starken Belastung oft sehr bedeutend herabgedrückt wird. Besonders geschieht Letzteres auf neu aufgewachsenem Groden und dabei zeigt sich noch die eigenthümliche Erscheinung, dafs nicht die ganze Fläche, welche den Deich trägt, gleichmäfsig sinkt, sondern am stärksten der mittlere Theil derselben, auf welchem die Krone ruht, wogegen die untern Theile der Dossirungen beinahe gar nicht den Untergrund herabdrücken. Bestimmte Regeln lassen sich hiernach nicht aufstellen, aber man mufs in jedem Fall aus der Beschaffenheit des Untergrundes, so wie aus der Natur und der Feuchtigkeit der Erde, die man zur Schüttung des Deichs verwendet, das zu erwartende Sinken ungefähr zu schätzen sich bemühn, und hiernach die nöthige Ueberhöhung beim Abstecken der Profile einführen. Gemeinhin pflegt man sich indessen hierbei zu irren, und eine geringere Ueberhöhung anzunehmen, als sich später bei dem Sinken des Deichs als nöthig herausstellt. Die spätere Erhöhung ist indessen sehr schwierig, indem alsdann der Rasen wieder entfernt werden mufs, wenn man sich nicht etwa damit begnügt, dafs man nur den obern Theil erhöht, also gerade da, wo der Angriff durch den Wellenschlag am stärksten ist, eine steilere Böschung bildet.

Ueber die passendste Neigung der einzelnen Erdlagen werden sehr verschiedenartige Ansichten ausgesprochen. Man geht dabei gewöhnlich von der Voraussetzung aus, dafs jede Lage in sich fester und inniger verbunden ist, als mit der darüber und darunter befindlichen, also jede Fuge zwischen zwei Lagen sich möglicher Weise in eine Wasserader verwandeln kann. Diese Annahme dürfte, wenn die Schüttung vorsichtig und aus gleichmäfsigem Material bewirkt ist, kaum als begründet anzusehn sein. Aufserdem ist auch zuweilen die Ansicht ausgesprochen, man solle die Lagen etwas geneigt aufführen, damit der auf die frische Erde fallende Regen um so leichter abfliefsen kann. In diesem Fall würde der Zweck der geneigten Lagen sich allein auf das erste Austrocknen der noch losen Erde beziehn.

Wenn man die Bedeutsamkeit der einen und der andern

Rücksicht nicht ganz in Abrede stellen, und sonach horizontale Lagen nicht wählen mag, so dürfte es wohl am angemessensten sein, mit der Schüttung des mittlern Theils des Deichs den Anfang zu machen, und sämmtliche Lagen flach gewölbt aufzuschütten, so dafs sie sowol nach aufsen, wie nach innen einige Neigung erhalten. Man erreicht dadurch noch den Vortheil, dafs derjenige Theil des Untergrundes, der später die stärkste Belastung tragen mufs, gleich anfangs schon dem gröfsten Druck ausgesetzt wird, also schon vor Beendigung der Schüttung auszuweichen Gelegenheit hat. Storm Buising empfiehlt dagegen, die sämmtlichen Lagen in ihrer ganzen Ausdehnung seewärts zu neigen, und zwar so, dafs jede Fuge eine Ebene bildet, welche den Fufs der äufsern Dossirung trifft. Schon in der Ausführung dürfte diese Anordnung nicht leicht mit einiger Regelmäfsigkeit durchzuführen sein, weil jede Lage alsdann ein dreiseitiges Prisma wird, das auswärts in eine scharfe Schneide ausläuft. Aufser dem Vortheil, dafs alle Fugen von aufsen nach innen ansteigen, also die Adern, die sich darin bilden, aufwärts gerichtet sind, wird hierbei noch der günstige Erfolg gerühmt, dafs das Regenwasser, welches auf den Deich fällt, den Abflufs nach der äufsern Seite findet. Wenn man aber nach der obigen Voraussetzung annehmen darf, dafs jede Fuge auch eine schwache Stelle bildet, n welcher die Trennung erfolgen kann, so mufs man zugleich besorgen, dafs die äufsersten Prismen sich auch am leichtesten lösen und ganz oder theilweise herabgleiten können. Hiernach dürfte diese Anordnung, wenn auch jene erste Voraussetzung richtig wäre, sich nicht empfehlen und keinen Vorzug vor der zuerst bezeichneten Schichtung haben.

Wenn man bei Schüttung eines Deichs sehr nassen, jedoch zähen Thon verwendet hat, und demselben vielleicht wegen ungünstiger Witterung auch nicht Gelegenheit zum Austrocknen in den einzelnen Lagen geben konnte, so zieht er sich später merklich zusammen, oder schwindet. Dabei entstehn Risse im Deiche, die nicht nur das Durchquellen befördern, sondern auch den ganzen Deich gefährden und seinen Bruch veranlassen können. Man mufs daher sowol vor dem Aufbringen der Rasen, als auch später sehr aufmerksam den Deich untersuchen, und wo solche Spalten oder Risse sich bemerklich machen, die oft bei

geringer Weite grofse Tiefe haben, mufs man sich bemühn, sie recht dicht zu füllen. Storm Buising empfiehlt, hierzu recht fetten, feinen und trocknen Thon zu verwenden, den man hineinschütten und mit flachen Instrumenten recht fest anstampfen soll. Wenn diese erste Dichtung auch nicht vollständig den Zweck erfüllt, und der Rifs nach einiger Zeit sich wieder öffnet, so soll es doch gelingen, diesen endlich nachhaltig und dicht zu schliefsen, wenn man ihn wiederholentlich in gleicher Weise behandelt.

Fast jedesmal trifft man in der Deichlinie einzelne tiefe Stellen an. Gewöhnlich sind dieses die Rillen, durch welche das Fluthwasser ein- und die Ebbe abgeflossen ist, die aber beim höhern Anwachsen des Bodens, und so lange derselbe nicht gegen den Zutritt der Fluthen abgeschlossen war, noch in Wirksamkeit blieben, und sich daher weder mit Erde füllen, noch auch, da sie keine Compression erlitten, die Festigkeit des andern Bodens annehmen konnten. Die lockere Beschaffenheit des Grundes in ihnen wird durch die Vegetation der Sumpfpflanzen meist noch vermehrt, und die Wurzeln des Schilfs und Rohrs bilden eine weiche Masse, die bei der Schüttung des Deichs nicht nur übermäfsig zusammensinkt, sondern auch wegen des Mangels an innerer Verbindung ein starkes Durchquellen veranlafst. Oft findet man hier schon in mäfsiger Tiefe einen festen und reinen Untergrund. In diesem Fall mufs man die vegetabilischen Stoffe und den dazwischen abgelagerten Schlamm durch Graben und Baggern sorgfältig entfernen, bis man den tragfähigen Untergrund erreicht, und auf diesem die Schüttung des Deichs mit ziemlich trocknem Thon beginnen, der bei der Berührung des Wassers nicht so leicht in Schlamm verwandelt wird. Es dürfte auch nöthig sein, diese Arbeit möglichst zu beschleunigen, um recht bald die angeschüttete Erde durch Abrammen in eine compacte Masse verwandeln zu können. Nichts desto weniger pflegen solche Stellen sich doch jedesmal ungewöhnlich stark zu setzen, und müssen daher mehr, als andre überhöht werden.

Wenn der Untergrund bis zu grofser Tiefe aus Moor oder Schlamm besteht, so dafs dessen Beseitigung zu kostbar oder ganz unmöglich wird, so mufs man andre Mittel ergreifen, die zum Theil mit den sonst gültigen Grundsätzen des Deich-

baus im Widerspruch stehn. In seltenen Fällen, und besonders wenn der Deich sich nicht hoch erhebt, auch die obern Schichten der sumpfigen Stelle noch ziemlich fest sind, soll es gelungen sein, das starke Sinken dadurch zu vermeiden, dafs man die Böschungen sehr flach gehalten hat. Hierdurch wird freilich das ganze Gewicht des Deichs vergröfsert, aber noch mehr verbreitet sich die Basis, so dafs der Druck, den jede Stelle des Untergrundes erfährt, etwas geringer wird. Dabei mufs jedoch vorausgesetzt werden, dafs der Deich in sich einen steifen Körper bildet, von dem der mittlere Theil oder die Krone nicht tiefer herabsinken kann, als die beiden Seitenprismen, welche die Böschungen bilden, was kaum zu erwarten ist. Man hat bei der Wahl dieser Anordnung aber noch eine andre Absicht. Wenn nämlich in dem Schlamm eine schwere und grofse Masse versinkt, so erhebt sich der verdrängte Boden wellenförmig auf beiden Seiten, und dieses kann um so leichter geschehn, je kürzer der Weg ist, den er dabei zurücklegen mufs, oder je weniger Breite die aufgeschüttete Belastung hat. Es wird also durch die sehr flachen Dossirungen dieses Aufquellen ganz oder theilweise verhindert, und auf solche Art können recht breite Grundflächen das Setzen etwas mäfsigen. Man hat jedoch in vielen Fällen unter denselben Verhältnissen auch das entgegengesetzte Verfahren angewendet, und dem Deich sowol eine recht schmale Krone, als auch recht steile Dossirungen gegeben, um sein Gewicht möglichst zu vermindern.

Bei dieser Beschaffenheit des Untergrundes hat die Oberfläche desselben gewöhnlich mehr Festigkeit und Zusammenhang, als die darunter liegende Masse. Man verfolgt daher zuweilen die Absicht, die Oberfläche möglichst wenig anzugreifen. Man reinigt alsdann wohl den Rasen von den darauf liegenden oder den hindurch gewachsenen sonstigen Pflanzen, indem man Schilf und Rohr u. dgl. recht kurz abmäht, aber den Rasen oder die sonstige benarbte Oberfläche sticht man nicht ab, sondern bringt auf dieselbe die Erde auf. Um die Quellungen in dieser Fuge einigermaafsen zu verhindern, pflegt man nur unter dem Fufs der äufsern Dossirung einen Graben zu ziehn, der mit guter Klaierde gefüllt und fest ausgestampft wird. Diese Erdmasse stellt die Verbindung zwischen der Dossirung und dem Untergrunde dar,

und erschwert sonach das Eindringen des Wassers bei hohen Fluthen.

In manchen Fällen, und namentlich in der Provinz Seeland hat man auch das Gewicht der Deiche dadurch wesentlich vermindert, dafs man sie zum Theil aus Faschinen aufführte. Eine oder mehrere Lagen Packwerk, deren Stärke gemeinhin dem vierten Theil der ganzen Höhe des Deichs gleich ist, werden zunächst auf den Rasen gelegt, und sodann mit Erde überschüttet. Letztere bildet nicht nur den obern Theil des Deichs, sondern auch die beiderseitigen Böschungen, und dieselben werden in der bereits beschriebenen Art wieder mit dem Untergrunde in Verbindung gesetzt. Dieses Verfahren ist wegen der grofsen Masse Faschinen, die dabei gebraucht werden, überaus kostbar. Aufserdem bietet ein solcher Deich, besonders wenn er schon mehrere Jahre alt ist, und die Faschinen verrottet sind, nicht entfernt die Sicherheit eines gewöhnlichen Erddamms, und endlich sind dabei die Quellungen auch sehr bedeutend.

Ueber die Bekleidung der Seedeiche mit Rasen ist nichts besonderes zu bemerken, nur verdient erwähnt zu werden, dafs man in den Niederlanden ganz allgemein die gut benarbten Deiche bei trockner Witterung beweiden läfst, jedoch vorzugsweise nur durch Hornvieh. Auch ist es Regel, selbst dieses erst im dritten Jahr, oder wenn der Rasen schon fest angewachsen ist, die Dossirungen betreten zu lassen. Mit Anfang des Monats October hört aber die Weide auf.

Was die Wahl der Deichlinie bei neuen Eindeichungen betrifft, so gelten hier zum Theil dieselben Regeln, wie bei Stromdeichen. Man mufs mit der kürzesten Linie die gröfste Fläche umschliefsen, um die Kosten der Anlage beziehungsweise zum beabsichtigten Gewinn möglichst zu mäfsigen. Hieraus ergiebt sich schon, dafs kleinere Krümmungen zu vermeiden sind, und der Deich entweder geradlinig oder in einer stätigen sanften Curve zu führen ist. Besonders dürfen keine scharfen Ecken darin vorkommen, weil solche nicht nur den Deich verlängern, sondern auch, wenn sie vortreten, einem verstärkten Angriff ausgesetzt sind, und wenn sie einspringen, oder wenn sie eine trichterförmig sich verengende Bucht bilden, eine höhere Anschwellung der einlaufenden Wellen veranlassen. Ferner darf

der Deich nicht zu nahe an den Uferrand gelegt werden, vielmehr mufs ein gehörig breites, und wo möglich auch hohes Vorland dazwischen bleiben. Hierauf ist vorzugsweise Rücksicht zu nehmen in solchen Strecken, die bei den herrschenden und stärksten Winden einem heftigen Wellenschlag ausgesetzt sind, und von solchem normal getroffen werden. Es leuchtet ein, dafs man diesen sämmtlichen Erfordernissen nur in seltenen Fällen wird genügen können, und es kommt alsdann darauf an, die in einer oder der andern Beziehung unvermeidlichen Uebelstände richtig zu würdigen, und darnach die passendste Wahl zu treffen.

Schliefslich ist noch auf einen wichtigen Punkt bei Erbauung von Seedeichen aufmerksam zu machen. Dieselben werden in der Regel auf einem Boden ausgeführt, der etwas über dem mittlern Hochwasser und unter dem der Springfluthen liegt. In der kurzen Zwischenzeit von einer Springfluth bis zur nächsten kann man den Deich nicht vollenden, gemeinhin ist dieses sogar in einem Sommer nicht möglich. Um nun zu verhindern, dafs nicht die nächsten Springfluthen schon bis an die so eben aufgeschüttete Erdmasse treten, die sie unfehlbar zum Theil abwaschen und an deren Enden sie bedeutende Ausrisse bilden würden, indem sie die noch nicht abgeschlossene Fläche dahinter füllen und daraus später wieder zurückfliefsen, so bleibt nur übrig, die ganze Baustelle ohnerachtet ihrer sehr grofsen Ausdehnung mit einer Art von Fangedamm oder einem niedrigen Kade-Deich zu umschliefsen. Derselbe erhebt sich meist nur etwa 2 Fufs über gewöhnliche Springfluthen. An der Deutschen und Niederländischen Nordsee-Küste bleibt er daher auf einem hohen Groden noch ziemlich niedrig, und man braucht ihn auch nicht mit besonders flachen Böschungen zu versehn und mit Rasen zu bekleiden. Er soll nur während der Sommer-Monate, wo keine heftigen Stürme zu erwarten sind, nothdürftigen Schutz gewähren, und wenn er zu durchbrechen droht, so mufs er an den gefährdeten Stellen durch Strauch oder auf andre Weise gesichert werden. Im Schutz dieses Dammes wird alsdann der neue Deich ausgeführt, und wenn derselbe so lang ist, dafs man ihn in einem Sommer nicht fertig stellen kann, so ist es am vortheilhaftesten, ihn in zwei Theile zu trennen, von denen der zweite erst im nächsten Jahr in Angriff genommen wird. Der Kadedeich

mufs alsdann eben so wie die erste Hälfte des Hauptdeichs an wasserfreies Terrain, oder an den weiter zurückliegenden alten Deich angeschlossen werden. Im Spätherbst wird aber der Kadedeich so erhöht und verstärkt, dafs er, wenn keine ungewöhnlichen Stürme eintreten, auch die Winterfluthen von der neu eingedeichten Fläche abhält. Man giebt ihm aber solche Lage, dafs er den Stürmen möglichst wenig ausgesetzt ist, und sonach ziemlich schwach profilirt werden darf. Wenn demnächst im folgenden Sommer die zweite Hälfte des Deichs im Schutz einer zweiten Kade erbaut ist, werden beide Kaden beseitigt.

Die zum Deich erforderliche Erde wird jedesmal aus dem Vorlande oder dem Aufsendeich entnommen, und damit die Erdgruben nicht etwa in tiefe Wasserläufe sich verwandeln, in denen eine starke Strömung sich darstellt, so dürfen sie nicht im Zusammenhange stehn, vielmehr läfst man breite Erdstreifen zwischen ihnen unberührt. Ihre Ausfüllung mit neuem Schlick pflegt alsdann in wenig Jahren zu erfolgen.

Die Erbauung der Entwässerungs-Schleuse oder des Siels erfordert eine besondere Vorsicht. Hiervon wird im Folgenden die Rede sein, und hier wäre nur zu bemerken, dafs man dazu festen Untergrund wählen mufs, woher nicht leicht die Abführung des Wassers in derselben Rille erfolgen kann, in welcher dieses vor der Eindeichung vom Groden abflofs.

§ 17.

Sicherung der Seedeiche.

Seedeiche, welche an sich nicht die erforderliche Stärke haben, oder wegen Unzulänglichkeit der Aufsendeiche besonders bedroht werden, pflegt man durch gewisse Sicherungs-Maafsregeln schon vor dem Eintritt wirklicher Beschädigungen gegen solche zu schützen. Dieses geschieht unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten. Die Schutzmittel sind nämlich entweder dauernd, oder man bringt sie nur während des Winters in Anwendung, wenn die heftigsten Stürme und höchsten Fluthen zu erwarten sind, und beseitigt sie demnächst wieder beim Eintritt des Frühjahrs. Die erstern haben unbedingt den grofsen Vorzug, dafs sie auch

bei ungewöhnlich ungünstiger Witterung im Sommer zur Wirksamkeit kommen, doch sind sie viel kostbarer, als die letztern. Demnächst wird hier auch von solchen Vertheidigungs-Arbeiten die Rede sein, die man erst vornimmt, wenn Beschädigungen bereits eingetreten sind. Diese zerfallen wieder in zwei Klassen, je nachdem man sie mit Mufse ausführen kann, wodurch der Deich wieder in den normalen Zustand versetzt wird, oder sie sollen nur der nächsten Gefahr vorbeugen und den Deich nothdürftig erhalten, sie müssen also später wieder beseitigt und durch jene ersetzt werden.

Wenn ein Deich den bezeichneten Regeln entsprechend ausgeführt ist und gehörig unterhalten wird, er also aus zähem Thon besteht, die gehörige Höhe und hinreichend flache und gut benarbte Dossirungen hat, auch vor ihm ein breiter und hoher Aufsendeich liegt, so bedarf er keines weitern Schutzes. Diese günstigen Verhältnisse treten indessen vorzugsweise nur an Meeres-Buchten oder an solchen Ufern ein, die keinem besonders heftigen Angriff ausgesetzt sind. An der offenen See sind sie sehr selten, und kommen daselbst vielleicht niemals in vollem Maafse vor. Am häufigsten geschieht es, dafs man die Uferdeckung zur rechten Zeit versäumt hat, also das Vorland abgebrochen ist. Will man einen Deich, dessen Fufs bereits an den Rand des Ufers tritt, noch erhalten, so mufs jedenfalls die Uferdeckung vorgenommen werden, aber dieselbe genügt allein nicht mehr, weil die Wellen alsdann schon in ungeschwächter Kraft den Deich treffen, und den Rasen, der ihn schützt, bald zerstören. Vielfach sind die Umstände aber noch ungünstiger und namentlich ist bei einem grofsen Theil der Niederländischen Deiche selbst diese spätere Uferdeckung versäumt oder in ungenügender Weise ausgeführt, so dafs auch die flache äufsere Böschung dem Deich fehlt und derselbe steil aus der Tiefe ansteigt. In einzelnen Fällen ist diese Böschung gar nicht mehr vorhanden und der Deich mufs alsdann an eine senkrechte oder beinahe senkrechte Wand gelehnt werden. In dieser Weise sah man zwischen Amsterdam und Haarlem sowol Bohlwerke, als auch Mauern, welche die Stelle der äufsern Dossirung des Sloterdeichs ersetzten. Bei Zwart Sluis an der Mündung der Vechte ohnfern Zwolle befand sich das Bohlwerk, welches den Deich

schützte, in geringem Abstande von demselben und der Zwischenraum war mit Torf ausgepackt. Zu diesen Deichen, die gar keine äufsere Dossirung haben, gehören vorzugsweise die sogenannten Wierdeiche an der Süder-See, die in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts noch vielfach und in grofser Ausdehnung vorhanden waren.

Wenn die äufsere Böschung eines Deichs noch vorhanden ist, jedoch den Uferrand berührt, also das Vorland fehlt, so stimmen diejenigen Vorkehrungen, die man zur Sicherung des Deichfufses trifft, sehr nahe mit denjenigen überein, welche die Uferdeckung bezwecken. Von letztern wird später die Rede sein, da jedoch der Schutz des Deichfufses mit dem der Dossirung und des ganzen Deichs aufs Innigste zusammenhängt, so mufs schon hier darauf näher eingegangen, und es sollen daher diejenigen zu diesem Zweck benutzten Methoden, die bei Deichen in Anwendung gekommen sind, nachstehend mitgetheilt werden.

Deiche, welche einem starken Wellenschlag ausgesetzt sind, werden häufig durch Steindecken geschützt. Wie sicher und empfehlenswerth dieses Mittel aber auch ist, so verbietet sich dessen Anwendung doch in den meisten Fällen wegen der grofsen Kosten, indem natürliche Steine in den Marschgegenden nicht vorkommen, auch künstliche nicht wohlfeil genug sind, um weit ausgedehnte Dossirungen der Deiche damit zu bedecken. Es findet daher nur eine beschränkte Anwendung dieser Deckungsart statt, und selbst wo man sich dazu entschliefst, wird sie gemeinhin nur zur Sicherung des untern Theils der Dossirung benutzt, während der obere entweder durch Rasenbekleidung, oder vielleicht im Winter noch durch die bereits angedeuteten zeitweisen Deckungen geschützt wird. Obwohl der Wellenschlag um so verheerender wirkt, je höher die Fluth steigt, und sonach gerade die obern Theile des Deichs alsdann am meisten leiden, so rechtfertigt sich diese Anordnung dennoch dadurch, dafs sehr hohe Fluthen nur selten eintreten, auch nach kurzer Dauer der Wasserstand wieder niedriger wird, man also hoffen darf, die entstandenen Beschädigungen ausbessern zu können, bevor sie zu einer gefahrdrohenden Gröfse angewachsen sind.

Ueber die Ausführung dieser Steindecken ist hier wenig zu sagen, da sie mit denjenigen übereinstimmen, welche bei Ufer-

deckungen üblich sind. Es wäre nur zu erwähnen, dafs man vor einigen Jahrzehnten in den Niederlanden den gebrannten Steinen dadurch ausgedehntere Anwendung für diesen Zweck zu verschaffen bemüht war, dafs man sie in ungewöhnlicher Gröfse darstellte. Die üblichen Ziegel sind zur Deckung der Meeresufer sehr brauchbar, und schützen sogar wegen ihres genauen Schlusses den Untergrund vollständiger, als eine Decke aus gewöhnlichen Feldsteinen. Sie haben aber so wenig Masse, dafs sie von den Wellen fortgerissen werden, sobald sie den dichten Schlufs verloren haben, und eine gröfsere Angriffs-Fläche bieten. Aus diesem Grunde mufs man sie noch dadurch in ihren Lagern zu halten suchen, dafs man sie nur auf sehr flachen Böschungen benutzt, und hierdurch wird ihre Anwendung aufserordentlich beschränkt.

In den Jahren 1811 bis 1813 liefs der Ober-Ingenieur Wildeman zuerst gröfsere Steine formen und brennen, und verwendete sie zur Bekleidung des sogenannten Bentdijk bei Vollenhove in der Provinz Overijssel. Ihre quadratische Oberfläche hielt in den Seiten 16 Zoll und ihre Dicke maafs $7\frac{1}{2}$ Zoll. Jeder Stein war daher etwas über einen Cubikfufs grofs und wog 128 Pfund. Die Verwendung geschah in der Art, dafs eine Böschung von dreifacher Anlage sich in der Höhe des niedrigen Wassers an eine schwache aber dicht schliefsende Pfahlwand lehnte. Der Boden wurde zuerst mit drei Schichten gewöhnlicher Ziegel überdeckt. Dieselben lagen flach, und um die Fugen gehörig zu wechseln, waren nur die Steinreihen der untern Schicht zum Ufer parallel gelegt, die der folgenden kreuzten diese dagegen unter Winkeln von 30 Graden, indem die Reihen in der einen Schicht nach der rechten und in der andern nach der linken Seite gewendet waren. Auf diese Art wurde das Zusammentreffen der Fugen vermieden. Hierüber lagen die erwähnten grofsen Steine. Sie bildeten Reihen in der Richtung des Ufers, und die einzelnen Steine waren so versetzt, dafs die Querfugen immer auf die Mitte der Steine in der nächsten Reihe trafen. Diese Steindecke soll sich sehr gut und beinahe ohne Reparatur während dreifsig Jahren gehalten haben.

Später versuchte Corman, Steine welche beinahe dieselbe

Gröfse hatten, so zu formen, dafs sie auf allen Seiten mit halber Spundung versehn waren. Dadurch wurde es freilich möglich, eine einzige Lage zu bilden, in welcher sich keine durchgreifende Fugen befanden. Dieser Versuch mifsglückte indessen, indem die vortretenden Backen bei ihrer geringen Stärke bald abbrachen. Am meisten haben die Steine aus der Ziegelei des Fabrikanten Terwindt Anwendung gefunden. Sie liegen nur stumpf neben einander, sind $15\frac{1}{4}$ Zoll lang, $11\frac{1}{2}$ Zoll breit und $7\frac{2}{3}$ Zoll stark, ihr cubischer Inhalt beträgt daher etwas über drei Viertel Cubikfufs. Dafs diese sämmtlichen Steine sehr hart gebrannt sein müssen, darf kaum erwähnt werden.

Man hat in den Niederlanden auch den Versuch gemacht, die Steindecke auf den Deichen nicht mit gleichmäfsiger Neigung ansteigen zu lassen, sondern sie als concave Cylinder-Fläche darzustellen. In dieser Art wurde im Jahre 1836 eine 37 Ruthen lange Deichstrecke auf der Insel Goeree befestigt. Fig. 32 zeigt das Profil derselben. Der Bogen ist mit dem Radius von 2 Ruthen beschrieben. Der Untergrund, der aus Sand besteht, ist zunächst mit einer 15 Zoll hohen Lage Klai bedeckt. Hierüber sind zwei Lagen Klinker ausgebreitet, die sich in den Fugen überdecken, und auf diesen ruht das eigentliche Steinpflaster, welches aus Säulen-Basalten besteht, die sämmtlich gleiche Höhe haben und dicht schliefsend an einander gestellt sind. Die Höhe der Steine mifst 19 Zoll. Der Fufs dieses Werks lehnt sich zunächst gegen einen Flechtzaun, und vor demselben befinden sich noch vier andre Zäune, die zugleich zur Befestigung einer Risberme dienen, die mit schweren Steinen bedeckt ist. Auch auf der obern Seite wird die Steinböschung durch eine Lage Faschinen eingeschlossen, worüber der unbefestigte Deich sich fortsetzt.

Storm Buysing*), der diesen Bau beschreibt, sagt nicht, ob derselbe sich gut gehalten hat, indem er jedoch hinzufügt, dafs die Ausführung sehr mühsam und kostbar ist, weil man gewöhnliche rohe Steine dazu nicht verwenden darf, so ist wohl anzunehmen, dafs diese Construction nicht besondern Beifall gefunden hat. Er bemerkt dabei, dafs die Anordnung sich nur

*) Bouwkundige Leercursus. Breda, 1854. I. Pag. 648.

vor Festungsmauern empfehlen dürfte, die vom Wellenschlag getroffen werden, und welche man in ihrem Fufs sicher decken und mit dem Vorlande verbinden mufs, weil sonst starke und gefährliche Vertiefungen davor entstehn.

Bei Deckung des Aufsendeichs ohnfern der Kugel-Baake bei Cuxhaven hat man diese Anordnung insofern geändert, dafs die gekrümmte Steindossirung bis zur vollen Uferhöhe hinauf reicht, auch zugleich in die verticale Richtung übergeht, und hier sollen vergleichungsweise gegen die frühere gleichmäfsig geneigte Böschung die Beschädigungen im anschliefsenden Terrain wesentlich vermindert sein.

Die Anwendung des Strauchs zur Sicherung der Deiche ist vorzugsweise nur üblich, wenn es sich darum handelt, starke Beschädigungen, die während eines Sturms entstanden sind, schleunig so weit auszubessern, dafs während der nächsten Fluthen ein Durchbruch nicht zu besorgen ist. Aufserdem benutzt man aber noch in eigenthümlicher Weise das Strauch, um bei heftigen Stürmen und beim Vorbeitreiben des Eises während des Winters den Rasen auf der äufsern Böschung zu schützen. Dieses geschieht mittelst Hürden oder solcher Tafeln aus Flechtwerk, die als leichte Einfriedigung zum Einstellen der Schafe während der Nacht auf den Weideplätzen üblich sind. Jede dieser Hürden ist 6 bis 8 Fufs lang, und etwa 2 Fufs breit. Die Stöcke, welche mit dünnen Weidenruthen umflochten sind, liegen in der Längenrichtung der Hürde und sind etwa 2 Zoll von Mitte zu Mitte entfernt. In den Provinzen Zeeland, Gelderland und Overijssel hält man grofse Vorräthe solcher Hürden in Bereitschaft, und bewahrt sie in eignen Schuppen neben den Deichen auf. Beim Eintritt der stürmischen Witterung, und gewöhnlich in der Mitte des Monats October werden sie auf die Dossirungen gelegt, so dafs sie mit der schmalen Seite die Steindecke am Fufs des Deichs berühren, sich daher in ihrer Länge nach der Krone hinaufziehn. Man legt sie so, dafs sie sich etwa 2 Zoll überdecken, und befestigt jede in der Mitte der drei freiliegenden Seiten mit eben so vielen hölzernen Pflöcken, die etwas schräge in den Deich eingestofsen werden. Der Pflock in der langen Seite greift daher durch 2 Hürden hindurch. Wenn dagegen der Deich den Stürmen sehr ausgesetzt ist, also

starke Beschädigungen auch in gröfserer Höhe sich noch ereignen können, so wird eine zweite Reihe Hürden noch neben die erste gelegt, die weiter aufwärts die Dossirung schützt. Man sieht im Spätherbst vielfach auf einige hundert Ruthen Länge die Deiche in dieser Weise bedeckt, doch geschieht dieses immer nur an solchen Stellen, die einem besonders heftigen Wellenschlag ausgesetzt, oder in andrer Weise gefährdet sind, also namentlich wenn die äufsern Böschungen steil ansteigen und nicht durch breites und hohes Vorland geschützt werden. Im ersten Frühjahr beseitigt man jedesmal diese Hürden, weil sie alsdann entbehrlich sind, auch der Rasen leiden würde, wenn er bedeckt bliebe.

Zuweilen wird auch eine gewöhnliche Strauchdecke über den Rasen zum Schutz desselben ausgebreitet, und namentlich geschieht dieses, wenn die Soden erst im Herbst verlegt werden konnten, also noch nicht gehörig angewachsen und durch neue Wurzeln mit dem Untergrunde verbunden sind. Wollte man indessen das Strauch unmittelbar auf den Rasen legen, so würde es aller Sorgfalt unerachtet doch keine gleichmäfsige und dichte Decke bilden. Es wäre vielmehr zu besorgen, dafs das aufschlagende Wasser durch einzelne stärkere Zweige zurückgehalten würde, und um so heftiger durch die Oeffnungen, die sich daneben befinden, eindringen, und dadurch den Deich noch stärker beschädigen könnte. Man mufs daher eine besondere und besser schliefsende Unterlage bilden, die unmittelbar auf dem Rasen ruht. Hierzu wählt man Haidekraut, oder noch häufiger Stroh.

In den Niederlanden werden solche Deckungen sehr sorgfältig ausgeführt. Zunächst breitet man das feine Material in einer dünnen Lage aus, die den Rasen vollständig überdeckt. Hierauf folgt eine Lage Rohr, die etwa 2 Zoll stark ist, und in welcher die Halme parallel zum Deich gerichtet sind. Sollte die Böschung so steil sein, dafs das Rohr nicht sicher liegt, vielmehr herabgleitet, was besonders bei heftigem Landwinde zu besorgen ist, so befestigt man es vorläufig durch leicht eingestofsne hölzerne Pflöcke, die später wieder entfernt werden. Die dauernde Haltung wird dem Rohr durch die Strauchdecke gegeben. Diese erhält eine Stärke von 5 Zoll, und die sämmt-

lichen Reiser in ihr sind normal gegen das Ufer gerichtet. Man beginnt die Bespreutung am obern Ende der Stroh- und Rohrdecke und legt die ersten Reiser so, dafs sie mit ihren Stammenden noch etwa einen Fufs weit über die Unterlage vorragen. Auch die zweite Reihe Strauch wird noch mit den Stammenden nach oben gekehrt, bei der dritten wechselt man aber, und bei dieser, wie bei allen folgenden liegen die Stammenden abwärts. Die einzelnen Reihen greifen jedesmal etwa 1 Fufs weit übereinander, nur oben und unten wählt man etwas geringere Absätze, damit die Dicke der ganzen Lage gleichmäfsiger wird. Zur Befestigung des Strauchs dienen endlich Zäune von etwa 6 Zoll Höhe, die wieder nach der Länge des Deichs gezogen sind. Diese bestehn, aus sehr sorgfältig ausgeführtem Flechtwerk. (Vgl. Theil II, § 38. Fig. 149.) Oft ist jeder vierte Zaunpfahl am Kopf mit einem Vorstecknagel versehn, und wird, nachdem er beflochten ist, scharf angetrieben, so dafs die Nägel auf die Flechtruthen und diese wieder auf das Strauch drücken. Die Spannung, in welche hierdurch die gesammte Decke versetzt wird, pflegt aber nicht lange Bestand zu haben, namentlich wenn die Wellen längere Zeit hindurch aufgeschlagen sind, legen die einzelnen Halme und Reiser sich etwas dichter in einander. Man mufs alsdann die Zaunpfähle von Neuem nachtreiben, wodurch die Decke für den ganzen Winter hinreichend gesichert zu sein pflegt. Diese Zäune stehn sehr nahe neben einander, und um so näher, je steiler die Dossirung, oder je mehr diese in andrer Beziehung gefährdet ist. In manchen Fällen bleibt zwischen den Zäunen fast gar kein freier Raum, gemeinhin sind sie jedoch 9 bis 13 Zoll von einander entfernt. Unter besonders ungünstigen Umständen packt man auch wohl Steine zwischen die Zäune, oder wie noch häufiger geschieht, legt man in Abständen von 2 bis 3 Fufs starke Stangen quer über die sämmtlichen Zäune, und befestigt diese dadurch, dafs in geringen Entfernungen von der einen und der andern Seite Pfähle schräge in den Deich eingetrieben werden. Diese verhindern ein Aufheben der Stangen und sonach der ganzen Bedeckung.

Eine andre eigenthümliche Methode zum zeitweisen Schutz der Deiche wurde einst im Oldenburgischen versucht und nach den ersten Erfahrungen auch vortheilhaft befunden. Man hatte

nämlich bemerkt, dafs die Beschädigungen der Deiche immer in einer bestimmten Höhe, nämlich wenig über der gewöhnlichen Fluth ihren Anfang nahmen, und sich von hier aus weiter verbreiteten. Hiernach lag die Idee nahe, diese Stelle möglichst zu schützen. Den ersten Versuch dieser Art machte man an dem Kadedeich, hinter welchem 1822 und 1823 der neue Hauptdeich vor dem Wapeler Groden ausgeführt wurde. Dieser Deich war sehr steil dossirt, und da er nur während eines Sommers erhalten werden durfte, mit keiner Rasenbekleidung versehn. Nachdem er wiederholentlich starke Beschädigungen erlitten hatte, so versah man ihn in der bezeichneten Höhe mit einer einzelnen Reihe Rasen, und seitdem dieses geschehn, hörten die Beschädigungen auf. Durch diesen Erfolg ermuthigt, liefs Burmester, der damals dem Wasserbau im Oldenburgischen vorstand, auch diejenigen Hauptdeiche an der Jade, die besonders starken Angriffen ausgesetzt waren, nicht in ihrer ganzen Dossirung, sondern nur in der bezeichneten Höhe mit einem kräftigen Schutz versehn. Es wurden der Länge nach zwei Gänge Dielen ausgelegt, die zwischen sich einen Raum von etwa 6 Zoll Breite frei liefsen. Quer über dieselben breitete man Strauch aus, und auf dieses legte man einen dritten Gang, der parallel zu den untern den Zwischenraum derselben überdeckte. Der letzte Gang war an beiden Enden jeder Diele und aufserdem in Abständen von etwa 10 Fufs, mit Löchern von 5 bis 6 Zoll Weite versehn. Durch diese Löcher wurden kleine eichene Pfähle hindurchgetrieben, die nahe unter ihren Köpfen durchlocht und mit starken hölzernen Pflöcken versehn waren. Letztere drückten gegen die Dielen des obern Ganges und verhinderten sonach das Aufschwimmen der ganzen Packung, während die Pfähle selbst ein Verschieben wo nicht ganz verhinderten, doch sehr erschwerten. Diese Deckungsart zeigte sich Anfangs als sehr erfolgreich, nichts desto weniger ist man, durch spätere Erfahrungen belehrt, davon wieder abgegangen.

Zum Schutz derjenigen Deiche, die nicht nur das Vorland, sondern auch die äufsere Dossirung verloren haben, benutzte man sonst auf der westlichen Seite des Süder-Sees vielfach hohe Packungen von Gras, die bei ihrer grofsen Breite eine Art von Futtermauer bildeten, gegen welche sich der Deich ohne

alle Dossirung lehnte. Diese Packung war auf der äufsern Seite eben so wenig, wie auf der innern mit einer Böschung versehn, bei ihrem innigen Zusammenhange und ihrer grofsen Elasticität widerstand sie aber ohne merkliche Beschädigung selbst dem heftigsten Wellenschlag, und wenn der Sturm auch grofse Massen des frisch aufgebrachten Grases forttrieb und zum Theil sehr weit in das Land wehte, so war die Ergänzung desselben doch mit so wenig Kosten und Mühe verbunden, dafs die Unterhaltung dieser eigenthümlichen Deiche vergleichungsweise gegen andre Arten des Deichschutzes sich keineswegs als kostbar herausstellte. Diese Deiche, Wierdeiche genannt, bestanden bereits seit Jahrhunderten, doch erforderten sie fortwährende Aufmerksamkeit und boten nicht diejenige Sicherheit, welche die niedrige Lage Nordhollands dringend fordert, woher man sie in neuerer Zeit nach und nach beseitigt, und dafür gehörig profilirte Erddeiche mit Steindecken vor dem Fufs eingeführt hat.

Das Gras, das hierbei benutzt wurde, wächst unter Wasser auf Schlickbänken, die bei der Ebbe nicht trocken werden, jedoch auch nicht tief darunter liegen. Namentlich findet es sich neben der Insel Wieringen in grofsen Massen, indem es, wie eine dichtbewachsene Wiese ausgedehnte Flächen überzieht. In der Umgegend nennt man es Wiergras, es ist der Wasserriemen (Zostera marina). Ende Juni wird dieses Gras gemäht, und in Boten ans Ufer gefahren, später löst sich der Stengel aber von selbst von der Wurzel, oder wie die Anwohner meinen, wird er von Wasservögeln abgebissen. Das Gras treibt alsdann bei Fluth und Ebbe in einer und der andern Richtung in grofser Menge vor dem Ufer vorbei. Um es aufzufangen, wendet man ein sehr einfaches Mittel an, man befestigt nämlich gewöhnliche Leitern in der Art vor dem Ufer, dafs ihre Sprossen senkrecht stehn, und indem sie auf dem Wasser schwimmen, werden ihre äufsern Enden durch zwei Leinen gehalten, so dafs sie weder bei der einen Strömung, noch bei der andern aus der normalen Richtung gegen das Ufer entfernt werden können. Diese Leitern fangen das vorbeitreibende Gras auf und zwar in solcher Masse, dafs oft in einer Fluth oder Ebbe ein ganzes Fuder an eine Leiter lehnt. Ehe die Strömung aufhört und umsetzt, wird mittelst langer Rechen der Fang auf das Ufer gezogen, und bald darauf

auf die Deiche gebracht. Man mufs es aber in kurzer Zeit verwenden, weil es in dem nassen Zustande sich besser lagert, als wenn es vorher ausgetrocknet wäre.

Durchschnittlich wird in jedem Jahre eine Schüttung von 1 Fufs bis 2 Fufs Stärke auf den Deich gebracht, ein kleiner Theil davon fliegt zwar fort, oder wird auch vom Wasser weggespült, das meiste bleibt aber liegen. Man darf jedoch nicht voraussetzen, dafs bei dieser sehr bedeutenden jährlichen Aufschüttung der Deich fortwährend höher wird, die neue Lage wird vielmehr, wenn sie durch andre überdeckt, und vollständig ausgetrocknet ist, überaus dünne, und die einzelnen Blättchen sind alsdann viel dünner als das feinste Briefpapier. Sie bleichen dabei vollständig aus, und wenn man bei starkem Winde in der Nähe eines solchen Deichs sich befindet, so sieht man die feinen Stückchen wie Schneeflocken umherfliegen. An der Seeseite treten alle Lagen hervor, sie sind unregelmäfsig abgebrochen, und jede einzelne hat fast das Ansehn, als wenn ein Stück Pappe durchrissen wäre. Nur selten sieht man aber eine Lage, die mehr als einen halben Zoll dick geblieben wäre.

Fig. 31 *a* und *b* zeigt den Wierdeich in der Nähe von Medenblick. Die Grasschüttung oder der Wierriemen ist etwa 10 Fufs breit, und erhebt sich einige Fufs hoch über die Krone des Erddeichs dahinter. Sein Fufs ist durch eine Steinschüttung geschützt, die auf einer Faschinenpackung ruht und die eigentliche Uferdeckung bildet. Dazwischen sieht man eine grofse Anzahl abgebrochener Pfahlköpfe, und einzelne Pfähle werden in Abständen von 8 bis 12 Fufs unterhalten, damit der Riemen auf der Seeseite einigermaafsen eine Stütze hat, und die Aufschüttung regelmäfsig erfolgen kann. An manchen Deichen dieser Art fehlt indessen diese Pfahlreihe, und die Wand steht ganz frei. Die Erdschüttung mufs sich jedenfalls scharf dagegen lehnen, und damit nicht etwa das Wasser in die Fuge zwischen beiden sich einziehn und eine Trennung veranlassen kann, so pflegt man dem nächsten Theil der Krone eine starke Neigung zu geben, wodurch das Wasser landwärts geleitet wird. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs bei diesen Deichen die Erdschüttungen jedesmal ungewöhnlich breite Kronen haben, und hierdurch ohn-

erachtet der fehlenden äufsern Dossirungen doch starke Profile sich bilden.

Zuweilen werden Deiche, denen das Vorland ganz fehlt, vor dem Fufs ihrer äufsern Böschungen durch dichte Holzwände geschützt, die alsdann auch zugleich zur Uferbefestigung dienen. Die Wellenbewegung hinter ihnen ist, selbst wenn sie bei hohen Fluthen ganz unter Wasser stehn, doch sehr gemäfsigt, woher auf diese Weise starken Beschädigungen des Deichs vorgebeugt wird. Es soll auch nicht leicht vorkommen, dafs diese Wände, wenn sie nur einigermaafsen noch haltbar sind, ganz oder theilweise vom Wellenschlag zerstört werden. Vorzugsweise hängt ihre Dauer davon ab, ob der Bohrwurm an den Ufern, wo man sie erbaut, sich vorfindet oder nicht. Im ersten Fall mufs man von der Anwendung des Holzes ganz Abstand nehmen, oder dasselbe nur unter dem gewöhnlichen niedrigen Wasser, also zur Befestigung von Steinschüttungen benutzen.

Demnächst leiden diese Wände auch vom Eise, und namentlich, wenn solches noch in gröfsern Schollen vorbeitreibt und vom Winde dagegen gedrängt und zugleich durch die Wellen auf- und abbewegt wird. Endlich übt die abwechselnde Benetzung und Austrocknung gleichfalls ihre zerstörende Wirkung auf sie aus, doch ist diese keineswegs so grofs, wie bei gewöhnlichen Bohlwerken, weil die Fäulnifs nicht durch die Berührung mit vegetabilischen Stoffen befördert wird, auch die abwechselnde Benetzung durch Seewasser weniger nachtheilig ist. In Gegenden, wo der Bohrwurm sich gar nicht oder doch nur selten vorfindet, nimmt man in den Niederlanden eine dreifsigjährige Dauer für diese Wände an, und wenn sie der Einwirkung des Eises entzogen sind, sogar eine funfzigjährige. Auf der Insel Wieringen findet man aber Wände, die bereits 60 Jahre alt sind, und noch für hinreichend haltbar erachtet werden.

Fig. 33 zeigt einen solchen Bau, der vor den am meisten bedrohten Stellen der Deiche auf der westlichen Küste der Provinz Friesland ausgeführt ist. Vor der Holzwand liegt eine sehr solide Uferdeckung, die nahe 5 Fufs über das gewöhnliche Hochwasser ansteigt, die Wand selbst erhebt sich 12 Fufs über letzteres. Auf der hintern Seite lehnt sie sich zunächst an eine

niedrigere Wand, die eben so, wie sie selbst, aus starken Bohlen besteht. Indem beide aber gegenseitig ihre Fugen überdecken, so bilden sie zusammen eine Stülpwand (Theil I § 39), wie solche bei uns vielfach bei Fundirungen statt der Spundwände benutzt werden. Sowol die vordere, als die hintere Bohlenreihe wird durch eine starke Zange unterstützt, die an jeden einzelnen Bohlenkopf genagelt ist.

Auf der innern Seite, und zwar im Abstande von 2 Fuſs befindet sich eine andre ähnliche, jedoch nur einfache Wand, und der Zwischenraum zwischen beiden ist mit Ziegelstücken gefüllt und mit groſsen Steinen überdeckt.

Die Figuren 34 und 35 zeigen die zum Schutz der Deiche auf der Insel Schokland im Süder-See dienenden Ufereinfassungen. Auf der Ostseite und überhaupt an denjenigen Ufern, wo der Wellenschlag mäſsiger ist, hat man die einfachere Construction Fig. 34 gewählt, auf der westlichen Seite dagegen, die einem viel stärkern Angriff ausgesetzt ist, die in Fig. 35 dargestellte. Die dichte Pfahlwand wird bei beiden in Abständen von etwas über 6 Fuſs durch Anker gestützt, die jedesmal an zwei oder drei Ankerpfähle gebolzt sind, und deren Köpfe sowol auf die Zange hinter der Pfahlwand eingekämmt und durch Bolzen daran befestigt werden, als sie auch mit schwalbenschwanz-förmiger Verkämmung zwischen die Pfahlköpfe greifen. Die Hinterfüllung besteht aus Ziegeln, die auf einer Unterlage von Strauch ruhn und mit gröſsern Feldsteinen überdeckt sind. Auſserdem ist bei der Fig. 35 dargestellten Construction die Steinschüttung auch noch auf der innern Seite durch eine Holzwand eingeschlossen. In beiden Fällen vertreten diese Holzwände zugleich die Stelle der Uferdeckung, und man hat ihren Fuſs nicht gesichert, weil die Schiffahrt eine bedeutende Tiefe davor fordert. Nicht nur der Verkehr mit der Insel veranlaſst ein häufiges Anlegen der Schiffe an diese Ufer, sondern dieses geschieht auch vielfach, wenn ein starker Sturm eintritt, und die auf der Süder-See befindlichen Fahrzeuge wegen der Untiefen, welche die Fahrwasser beengen, verhindert werden unter Segel zu bleiben. Sie werden alsdann, wenn es irgend geschehn kann, nach der Insel Schokland gesteuert und ankern entweder in

deren Schutz, oder wenn ihr Tiefgang nicht grofs ist, so legen sie auf der Leeseite auch unmittelbar an das Ufer an.

Diese Holzwände auf Schokland wurden vor einiger Zeit in sofern bedroht, als der Bohrwurm sich hier häufiger, als früher zeigte. Nichts desto weniger wurde die Gefahr noch nicht für so grofs erachtet, dafs man von dieser Constructionsart abgehn müsste. Seitdem verwendet man jedoch Eichenholz statt des sonst üblichen Kiefernholzes.

Nachdem die Mittel bezeichnet sind, durch welche man verschiedentlich unter ungünstigen Umständen Seedeiche zu sichern versucht hat, dürfte es angemessen sein, einige Beispiele der Anwendung derselben noch mitzutheilen. Hierzu eignen sich vorzugsweise solche, bei denen wegen des hohen Werthes des eingedeichten Landes die Deiche nicht zurückgelegt werden durften, wenn gleich das Vorland oder der Aufsendeich vollständig fehlte und die offene See den ungeschwächten Angriff dagegen ausübte, während zugleich kein andres Material, als der reine Seesand zur Aufführung des Deichs in der Hauptmasse benutzt werden konnte. Fälle dieser Art wiederholen sich mehrfach an der Niederländischen Küste der Nordsee. Die hinter den Deichen belegenen fruchtbaren Niederungen waren früher durch Dünen gegen die See vollständig geschützt. Indem diese Dünen aber nach und nach auf der äufsern Seite angegriffen wurden und unter gegenwärtigen Verhältnissen sich nicht wie sonst ausbilden konnten, vielmehr die Vegetation darauf vielfach gestört wird, so dafs der Sand vor dem Winde forttreibt, so wurden seit Jahrhunderten diese ungünstigen Verhältnisse immer gefährlicher, und nur mit der äufsersten Anstrengung und mit den gröfsten Kosten wird es möglich, die dahinter liegenden Niederungen vor dem Einbruch der See sicher zu stellen.

In wie weit diese Anlagen den fernern Abbruch des Landes oder das Vorrücken der Uferlinie verhindert haben, soll später, wenn von Uferbauten die Rede ist, näher nachgewiesen werden, hier ist nur von dem Deich selbst, mit Einschlufs seines Fufses, der zugleich den Uferrand bildet, die Rede.

In der Provinz Nordholland sind auf der nur wenig vortretenden Uferstrecke von Kamp bis etwas nordwärts von Petten, deren Länge nahe eine Deutsche Meile mifst, die

Dünen so sehr angegriffen, und ihre Breite ist so sehr beschränkt, dafs diese stellenweise kaum genügte, um den Sanddeich in den erforderlichen Dimensionen darauf auszuführen. Weiter nördlich, wie südlich, verbreiten sich die Dünen so weit, dafs sie noch den nöthigen Schutz bieten.

Von dem in Rede stehenden Deich wird nach vielfachen Verhandlungen gegenwärtig der nördliche, vor dem Dorf Petten belegene und 160 Ruthen lange Theil, der die Pettener Zeewering heifst, von der Provinz Nordholland, der südwärts daran anschliefsende Theil, der 1210 Ruthen lang ist, und sich bis zur Kamper Düne erstreckt, oder die Hondsboschsche Zeewering, dagegen von der Niederländischen Regierung unterhalten. Fig. 35 *A* auf Taf. V. a zeigt das Querprofil des ersten Deichs mit den dabei angebrachten Verstärkungen. Dasselbe stimmt nahe überein mit dem in neuster Zeit auch für den Hondsbosch gewählten.

Der mittlere Fluthwechsel an dieser Stelle wird zu 4 Fufs 9 Zoll angenommen. Eine schmale mit Steinen überdeckte Senklage begrenzt seewärts den Deichfufs. Diese Steine liegen mit ihrer Oberfläche in der Höhe des gewöhnlichen Niedrigwassers. Hieran schliefst sich eine Reihe creosotirter Fufspfähle, die $1\frac{1}{2}$ Fufs von einander entfernt sind. Gegen dieselben lehnt sich die untere Steinböschung, die Anfangs mit der Neigung 1 : 3 ansteigt und in sanftem Uebergange mit der 1 : 8 endigt.

Um dieser Böschung eine möglichst sichere Unterlage zu geben, ist zunächst etwa 3 Fufs durchschnittlich hoch eine Klailage aufgebracht. Nachdem dieselbe festgerammt und profilirt war, sind darüber zwei Ziegelschichten flach verlegt, auf diese ist 6 Zoll hoch Kies und Bauschutt gebracht, und darüber befindet sich das 15 bis 18 Zoll hohe Pflaster von aufrecht stehenden Basaltsäulen. Längere Basalte liegen flach neben den Fufspfählen, um die Zwischenräume zwischen denselben zu schliefsen*).

---

*) In allen Profilzeichnungen auf Taf. V. a sind die Klailagen, die den Sand überdecken, durch die mit Punkten gefüllten Flächen bezeichnet. Die Strohbestickungen (die im folgenden Abschnitt beschrieben werden) deuten die wellenförmigen Erhöhungen der Oberfläche an, während Steinschüttungen, Abpflasterungen und Zäunungen mit hinreichender Deutlichkeit sich erkennen lassen.

Oben wird diese 30 Fuſs breite Steindossirung durch eine Pfahlreihe begrenzt, an welche sich eine mit Bauschutt und Kies gefüllte Kiste anschlieſst, die unter dem Niedrigwasser auf Strauch ruht. Dieselbe ist gleichfalls abgepflastert und ein gleiches Basaltpflaster setzt sich noch 10 Fuſs weiter fort.

Diese auſserordentliche Vorsicht zur Deckung des Deichfuſses oder Ufers begründet sich dadurch, daſs von den auflaufenden Wellen nur ein Theil des Wassers über die Dossirung zurückflieſst, während ein groſser Theil desselben aller Vorsicht unerachtet in den Boden eindringt, und sobald der Wellenscheitel aufgelaufen ist, unterirdisch den Rückweg findet. Dabei wird der lose Sand nach und nach ausgespült, und das Pflaster verliert seine Unterstützung und versinkt stellenweise, wodurch der Angriff der Wellen auf dasselbe sogleich wesentlich verstärkt wird.

Die Figur zeigt in der vorstehend beschriebenen Steindossirung und am obern Ende derselben noch drei Pfahlreihen, die 5 und 6 Fuſs vortreten. Die einzelnen Pfähle in diesen Reihen, aus Eichenholz bestehend, sind 2 Fuſs von Mitte zu Mitte von einander entfernt und haben den Zweck, die auflaufenden Wellen zu brechen, und so die dahinter liegende nahe 100 Fuſs breite Berme zu schützen.

Letztere versieht die Stelle des fehlenden Vorlandes. Der Sand ist hier wieder, wie die Figur zeigt, mit einer starken Klailage überdeckt und darüber befindet sich die Rasendecke. Diese ist im Verhältniſs von 1 : 22 gegen den Horizont geneigt.

Hinter ihr beginnt der eigentliche Seedeich, der in seinem Kern nur aus Dünensand besteht, aber bis über die Krone fort mit Klaierde bedeckt ist. Die Krone erhebt sich bis nahe 20 Fuſs über gewöhnliches Hochwasser. Der untere Theil der äuſsern Dossirung muſste wieder gegen den Wellenschlag besonders gesichert werden, wenn ein hoher Wasserstand die Berme überfluthet. Er ist daher auf 35 Fuſs Breite ganz in derselben Weise, wie neben dem Ufer, mit Basalt abgepflastert. Das Pflaster liegt zunächst auf 5 Fuſs Breite horizontal, steigt

alsdann mit der Neigung von 1 : 3 auf und diese Neigung geht nach und nach in die von 1 : 5 über. Der hieran anschliefsende Rasen steigt mit der Neigung von 1 : 8 bis zur Krone des Deichs an. Diese ist flach gewölbt und 29 Fufs breit. Die Binnendossirung hat zunächst zweifache Anlage, verflacht sich aber allmälig und trifft das durchschnittlich in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers liegende Terrain mit der Neigung 1 : 8.

Vor dem Pettener Seedeich liegen Buhnen, von denen jede etwa 300 Fufs lang ist. Fig. *B* zeigt das Querprofil derselben in ihrer Mitte. Die nähere Beschreibung dieses Uferschutzes wird im III. Abschnitt folgen. Hier mag nur bemerkt werden, dafs auch vor dem Hondsbosch eine grofse Anzahl Buhnen ausgeführt ist*).

Sehr wichtig sind ferner die Deiche und Uferschutzwerke an der westwärts vorspringenden Ecke der Insel Walcheren, zwischen der Oster- und Westerschelde. Die Verhältnisse sind hier dieselben, wie bei Petten. Es handelte sich dabei nicht nur um die Erhaltung des grofsen Dorfs West-Kapelle und andrer hart an der See belegenen kleinern Ortschaften, sondern die Fruchtbarkeit des Bodens rechtfertigte auch die übergrofsen, auf seine Sicherstellung verwendeten Kosten. Der starke Wellenschlag der offenen See, so wie auch die bald in einer, bald in der andern Richtung vorbeiziehenden Strömungen haben das Ufer im Lauf der Zeit weit zurückgedrängt. Zum Schutz desselben waren in der Länge von 3250 Ruthen 82 Buhnen erbaut. Indem aber einzelne Intervalle zu grofs waren, so wurde 1866 beschlossen, dafs noch 22 neue hinzukommen sollten. Die ganze Anzahl würde also 104 betragen und der gegenseitige Abstand wäre etwas über 31 Ruthen. Grofsentheils sind sie über 400 Fufs lang, und nur in der mittlern, ziemlich geraden Strecke, von 450 Ruthen Länge, die von SSW nach NNO gerichtet ist und welche der Westcappelsche Deich heifst, mufste wegen der nahe davor liegenden grofsen Tiefe ihre Länge auf 80 bis 95 Fufs

*) Die hier gemachten Mittheilungen sind entnommen aus dem Bericht des General-Inspectors Conrad in der Zeitschrift des Königl. Niederländischen Ingenieur-Instituts. 1869—70, pag. 287.

verkürzt werden. Sie sind aber hier nur etwa 23 Ruthen von einander entfernt.

In dieser letzterwähnten Strecke sind die Dünen eben so wie bei Petten beinahe vollständig verschwunden und auf solche Stellen bezieht sich die folgende Mittheilung einiger Querprofile.

Fig. *C* auf Taf. V *a* zeigt das Profil des Deichs am südlichen Ende dieses Ufers, wo dasselbe sich östlich abwendet. An die Steinschüttung unter Niedrigwasser schliefst sich ein starkes Pflaster an, das bis über Hochwasser hinaufreicht. In demselben befinden sich vier Pfahlreihen, die wieder die Wellen brechen sollen. Hinter dem Pflaster ist die Dossirung auf 38 Fufs Breite mit Stroh bestickt, und weiter aufwärts bis zur Krone mit Rasen bekleidet. Die Neigung der äufsern Böschung über Hochwasser ist 1 : 6,5 und die Krone erhebt sich nahe 14 Fufs über Hochwasser.

In der Mitte der in Rede stehenden Strecke ist der Angriff am geringsten, woher hier auch am wenigsten besondere Vorsichts-Maafsregeln erforderlich waren. Fig. *D* stellt das daselbst vorhandene Querprofil dar. Eine Steinschüttung deckt den Fufs des Ufers. Ueber gewöhnlichem Niedrigwasser beginnt eine Ueberdeckung mit Strauch, die durch aufgenagelte Würste gehalten wird. Sie setzt sich bis über gewöhnliches Hochwasser fort, und wird von einer Pfahlreihe zum Brechen der Wellen umschlossen. An die Strauchdecke grenzt eine 56 Fufs breite Stroh-Bestickung und an diese lehnt sich der Rasen. Letzterer steigt, wie auch die Bestickung, im Verhältnifs von etwa 1 : 14 an und der höchste Punkt der Deichkrone liegt nahe 16 Fufs über Hochwasser.

Das Profil *E* liegt am nördlichen Ende der in Rede stehenden Strecke, also auf der vorspringenden Ecke, die am meisten dem Wellenschlage ausgesetzt ist. An die Steinschüttung in der Höhe des Niedrigwassers, die stark versackt ist, und verstärkt werden sollte, schliefst sich ein Basaltpflaster an, das 70 Fufs breit ist, und hieran die 96 Fufs breite Strohbestickung. Dieselbe ist im Verhältnifs von 1 : 9,5 und der alsdann folgende Rasen wie 1 : 21 gegen den Horizont geneigt. Der höchste Theil der Krone liegt nahe 21½ Fufs über Hochwasser, doch

besteht derselbe nur aus einer leichten Kade, die das Uebertreten besonders hoher Wellen verhindern soll.

Um die gegen den Deich gerichteten Wellen zu brechen, sind in der Steindossirung nicht nur dreizehn Pfahlreihen aufgestellt, sondern jede derselben ist noch durch einen starken Riegel in sich verbunden, der an jeden Pfahl mittelst Schraubenbolzen und Muttern befestigt ist, und in gleicher Art sind die Riegel der verschiedenen Pfahlreihen durch andre Balken, deren Richtung die des Ufers normal trifft, wieder unter sich verbunden. Indem die einzelnen Pfähle in den Reihen noch nicht 2 Fuſs von einander entfernt sind, so ist die hier verwendete Holzmasse, und zwar Eichenholz, überraschend groſs.

Im Allgemeinen muſs noch bemerkt werden, daſs auch hier sowol unter den Steinen, wie unter der Strohbestickung und dem Rasen der Sand mit einer starken Klailage bedeckt ist. Auf dem ganzen Deich liegt ein durch Muschelschalen befestigter Weg. Die innere Dossirung des Deichs ist meist sehr steil, und hat vielfach nur wenig mehr, als einfache Anlage*).

Als ich im Frühjahr 1867 diesen Deich sah, war er ziemlich in seiner Mitte an einer Stelle ganz besonders angegriffen und schon seit Jahren hatte man ihn hier durch auſserordentliche Mittel zu halten gesucht, während damals eine gründliche Regulirung und namentlich die Darstellung einer gleichmäſsigen Dossirung begonnen werden sollte. Fig. *F* zeigt das Profil, wie es sich gestaltet hatte. Zunächst über Niedrigwasser hatte die Befestigung des Uferfuſses sich ziemlich unversehrt erhalten. Die sehr hohe Steinschüttung nebst Pflaster hatten demselben, wie dem darüber angebrachten Pfahlwerk hinreichenden Schutz verliehn. Dahinter war jedoch die Dossirung auf nahe 100 Fuſs Breite tief versunken. Ob in früherer Zeit diese Stelle gedeckt gewesen, und in welcher Art dieses geschehn, konnte ich nicht erfahren. Gegenwärtig befand sich eine Lage kleiner Steine darüber, und um dieselben zu halten, hatte man in Abständen von $2\frac{1}{2}$ Fuſs niedrige Flechtzäune gezogen und dazwischen reihenweise groſse

*) Die mitgetheilten Profile sind einer lithographirten Zeichnung entnommen, welche die 1866 vom Ingenieur Caland ausgeführten Messungen des Westcappelschen Seedeichs enthält.

Steine gepackt, wie die Figur zeigt. Die steil ansteigende Fläche am Ende der Versackung bedurfte eines besondern Schutzes, und hierzu hatte man wieder ein Pfahlwerk gewählt, das eben so, wie das seewärts befindliche, ungefähr in gleicher Weise ausgeführt war, wie bei Profil *E* angegeben ist. Doch standen die Pfählchen, aus schwächerm Holz bestehend, so nahe neben einander, dafs sie sich fast unmittelbar berührten. Der obere Theil der steilen Böschung war durch Strauch und übergenagelte Würste gedeckt, und die hier anschliefsende ursprüngliche flache Böschung des Deichs war zunächst noch durch Strohbestickung gedeckt, woran der Rasen sich anschlofs.

Die beabsichtigte Wiederherstellung bezog sich darauf, dafs die eingetretene Versackung wieder ausgefüllt werden sollte, wie die punktirte Linie angiebt. Zugleich sollte das untere Pfahlwerk weiter heraufgeführt, das obere aber ganz beseitigt werden.

Bisher war nur von den Schutzmitteln die Rede, die man anwendet, um Beschädigungen der Deiche zu verhindern. Sind solche bereits eingetreten, so ist die Art ihrer Wiederherstellung wesentlich verschieden, je nachdem die Arbeit mit Mufse und vollständig vorgenommen werden kann, oder vielleicht bei der nächsten Fluth schon eine augenscheinliche Gefahr eintritt, wenn die weitere Ausdehnung der Zerstörung nicht verhindert wird. In Betreff des ersten Falls ist wenig zu erinnern, da die Methoden der Wiederherstellung mit denen des Neubaus nahe übereinstimmen. Hierbei wäre nur darauf aufmerksam zu machen, dafs die Erhaltung des Rasens auf den Dossirungen eine besondere Vorsicht erfordert. Es ist freilich nicht zu vermeiden, dafs man auch kleinere Stellen mit neuem Rasen belegen mufs, wenn derselbe vollständig abgestofsen ist, indem jedoch dabei eine innige Verbindung erst nach Jahren eintritt, so mufs man bei Reparaturen den gut angewachsenen Rasen möglichst schonen, namentlich wenn an einzelnen Stellen in der Dossirung Versackungen sich zeigen. Dieselben erscheinen Anfangs wenig erheblich und sogar ohne alle Bedeutung, aber wenn sie auch nur geringe sind, so unterbrechen sie doch die Gleichmäfsigkeit und veranlassen, dafs der Wellenschlag auf einzelne kleine Flächen einen verstärkten Angriff ausübt. Der obere Theil einer solchen eingesunkenen Stelle nimmt eine steilere Neigung an, als er

früher hatte, und hierdurch wird nicht nur die Vegetation daselbst erschwert, sondern gerade hier erfolgt auch beim Auflaufen der Wellen ein heftigerer Stofs. Beide Umstände wirken auf die Vergröfserung der Unregelmäfsigkeit hin, und nach einigen Jahren ist der Rasen, wenn auch keine sonstige Zufälligkeiten den Schaden weiter ausgedehnt haben, doch so mangelhaft, dafs man ihn vollständig erneuen und die entstandene Vertiefung, ehe man neue Soden darüber legt, mit Erde anfüllen mufs. Dieses läfst sich vermeiden, wenn man gleich Anfangs auf die Beseitigung der noch geringen Versackung hinwirkt. Sobald diese nämlich nur noch wenige Zolle tief ist, so bringt man im ersten Frühjahr oder im Anfang des Sommers, also in Zeiten, wenn das Gras stark treibt, dünne Lagen recht fruchtbarer Erde auf, die jedoch nicht zu fest angestampft sein müssen. Durch diese wächst der Rasen hindurch, und indem die Pflanzen im frischen Boden Wurzeln schlagen, so erhöht sich der Rasen. Wenn aber die Vertiefung hierdurch noch nicht ausgefüllt sein sollte, so wird dasselbe Verfahren bei nächster Gelegenheit wiederholt, bis die Dossirung vollkommen regelmäfsig wieder hergestellt ist. Auf diese Art umgeht man das Umlegen des Rasens, und wenn vielleicht bei einem Sturm die frisch angeschüttete Erde auch fortgespült werden sollte, so ist dieser Schaden nicht von Bedeutung und mit keiner Gefahr verbunden. In Holland ist ein solches Verfahren nicht ungewöhnlich, dadurch ist es aber allein möglich, die Regelmäfsigkeit der Dossirungen zu erhalten, die vergleichungsweise mit andern Deichen oft überraschend grofs ist, und zu ihrem Schutz wesentlich beiträgt.

Wenn dagegen starke Sackungen eingetreten sind, und entweder der Rasen sich schon löst und abstirbt, oder die Deichkrone erhöht werden mufs, alsdann wird man sich dazu entschliefsen, den Deich abzuschälen und mit Erde zu beschütten. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man auf die innige Verbindung der neuen Erde mit der alten möglichst sehn, und zu diesem Zweck die Dossirungen nicht nur auflockern, sondern selbst abtreppen mufs. Andrerseits ist es aber auch nothwendig, die Aufschüttung so weit abwärts fortzusetzen, dafs eine hinreichend flache Böschung entsteht. Bis zum Fufs der äufsern Böschung geht man selten herab, um nicht die ganze Grasnarbe

erneuen zu dürfen, wenn aber eine ansehnliche Erhöhung der Krone nothwendig ist, so ist es oft vortheilhafter, die äufsere Böschung ganz unberührt zu lassen und die der Erhöhung entsprechende Verstärkung nur an der innern Seite anzubringen.

Ist der Rasen stark beschädigt, und seine baldige Wiederherstellung nothwendig, so kann das Belegen mit neuen Soden nur vorgenommen werden, wenn die Jahreszeit hierzu günstig ist. Andernfalls mufs man durch gewisse vorläufige Schutzmittel den Deich gegen weitere Zerstörung sichern. Vorzugsweise eignet sich hierzu die Strohbestickung, doch erfordert dieselbe, wenn grofse Stellen zu decken sind, mehr Zeit, als bis zum Eintritt der nächsten Fluth geboten ist. Auch bemerkt man vielleicht erst beim fallenden Wasser die eingetretene Beschädigung, und sonach genügt die kurze Zwischenzeit noch nicht, um das Material herbeizuschaffen. In diesem Fall ist das Ueberspannen von Segeln besonders üblich. An den Deichen in Friesland und Overijssel hält man zu diesem Zweck stets Segel in Bereitschaft, die über die kahlen Stellen gelegt, mit Pflöcken befestigt und am untern Ende durch angebundene Steine gehalten werden. Man kann hiervon jedoch nur Gebrauch machen, wenn es sich um die Sicherung des beschädigten Rasens handelt. War der Deich schon früher zur Vorsorge mit Strauch bedeckt, das theilweise fortgerissen ist, so legt sich das Segel nicht so dicht schliefsend an, dafs es das fernere Ausspülen der Erde verhindern könnte, auch wird es vom Strauch und den Zaunpfählen in Kurzem so zerrissen, dafs es keinen Schutz gewährt.

In diesem Fall, oder wenn die Segel nicht schnell genug zu beschaffen sind, werden die Einrisse gemeinhin mit Strauch ausgedeckt. Dieses mufs auch geschehn, wenn tiefe Löcher sich bereits gebildet haben. Das Verfahren dabei stimmt, soweit die kurze Zwischenzeit dieses gestattet, mit dem vorhin beschriebenen überein. Es kommt hierbei zwar nicht mehr auf die Schonung des Rasens an, weil derselbe bereits fortgeschlagen ist, aber um einigermaafsen die Regelmäfsigkeit der Böschung wieder herzustellen, werden die tiefen Einrisse zunächst mit Erde gefüllt, und diese bedarf einer dichtern Decke, als durch blofses Strauch dargestellt werden kann. Die Unterlage von Stroh oder Rohr ist daher alsdann unentbehrlich. Man beginnt die Ausführung

der Decke immer in der gröſsten Tiefe, weil der höher belegene Theil noch während der Fluth gemacht werden kann. Die ganze Arbeit, wenn auch wesentlich dieselbe, fällt indessen viel roher und unregelmäſsiger aus, weil es an der nöthigen Zeit gebricht. Aus demselben Grunde kann man auch bei der ersten Instandsetzung nur wenige Zäune beflechten, die jedoch während des nächsten kleinen Wassers vervollständigt werden müssen.

Ist eine Kappstürzung eingetreten, also stellenweise ein Theil der Krone versunken, so läſst sich die Dossirung in der kurzen Zwischenzeit bis zum nächsten Hochwasser nicht wieder herstellen, aber dringend nöthig ist es, die Krone gegen den gänzlichen Durchbruch zu sichern. Dieses geschieht, indem sogleich eine Pfahlreihe in der Richtung der äuſsern Kante der Krone durch den Bruch hindurchgerammt wird. Man verkleidet dieselbe, sobald das Wasser fällt, auf der innern Seite mit Bohlen, und stellt überhaupt ein gewöhnliches Bohlwerk her, das mit Ankern versehn wird, die an Pfähle auf der innern Dossirung gebolzt sind. Gegen das Bohlwerk, das bei der Ausführung wenig dicht zu sein pflegt, packt man lieber Stroh und Mist und selbst Faschinen, als lose Erde, doch muſs man eine starke Lage der letztern aufbringen, um die ganze Masse gehörig zu comprimiren. Auſserdem ist es noch nothwendig, den Fuſs des Bohlwerks auf der äuſsern Seite durch eine Risberme oder durch Packwerk zu schützen.

Bemerkt man, daſs am Fuſs des Deichs eine groſse Vertiefung eingetreten ist, so genügt die Zwischenzeit gemeinhin nicht, um durch eine Bohlwand die Dossirung zu sichern, auch läſst sich eine solche nicht dichten, da der tiefe Kolk selbst be der Ebbe mit Wasser gefüllt bleibt. In diesem Fall ist die Ausführung von Packwerken oder Senkstücken das Einzige, was man thun kann.

Wenn endlich die Gefahr so groſs ist, daſs die Erhaltung des Deichs nicht mit Sicherheit erwartet werden kann, so bemüht man sich nur, die Ausdehnung der bevorstehenden Ueberschwemmung möglichst zu beschränken. In vielen Fällen liegen hinter den Hauptdeichen noch ältere, oder sogenannte Schlafdeiche, die man zu diesem Zweck zu erhalten pflegt. Wenn man auch auf ihre Instandhaltung wenig Sorge verwendet, so pflegt man

sie doch nicht abzutragen. Sobald aber der Hauptdeich zu durchbrechen droht, so werden sie schleunigst durch Ausfüllung der Durchfahrten und Gräben, und wo es nöthig ist, noch durch Aufkadung so erhöht, dafs sie das Wasser abhalten können. Dieses gelingt auch meist, in sofern sie wegen des weiten Vorlandes vor dem Wellenschlage geschützt sind, und nur ruhiges Wasser vor ihnen steht.

§ 18.

Schliefsung der Deichbrüche.

Wenn ein Seedeich gebrochen ist, so füllt sich nicht nur der dahinter liegende Polder nahe bis zu derjenigen Höhe mit Wasser an, zu welcher die Fluth auf der Aufsenseite ansteigt, sondern bei der Ebbe strömt das eingetretene Wasser wieder aus, und dieses Ein- und Ausströmen wiederholt sich bei allen folgenden Fluthen, so lange der Bruch nicht geschlossen ist. Wie sehr das früher eingedeichte Land, namentlich in der Nähe des Bruchs hierdurch verwüstet und zugleich der tiefe Einrifs im Boden, den die Strömung verfolgt, oder der Kolk vergröfsert und vertieft wird, leuchtet ein. Die Zerstörungen wiederholen sich nicht nur fortwährend, sondern die jedesmaligen Beschädigungen werden in demselben Maafse gröfser, wie tiefere und weitere Schläuche sich ausgebildet haben, in denen das Wasser mit gröfserer Leichtigkeit hin- und herfliefsen kann. Es ist daher dringend geboten, den Deich möglichst bald wieder herzustellen, oder den Bruch zu schliefsen. Die Schwierigkeiten, denen man dabei begegnet, sind aber ohne Vergleich viel gröfser, als bei Deichbrüchen an oberländischen Strömen. Neben diesen werden die Polder, wenn sie sich nicht etwa in grofser Länge zur Seite der Flüsse hinziehn, und also einer anhaltenden Durchströmung ausgesetzt sind, nur einmal mit Wasser gefüllt, das freilich zurückfliefst, sobald der äufsere Wasserstand sich senkt, man hat aber alsdann bis zu dem zu erwartenden nächsten Hochwasser während des Sommers und Herbstes hinreichend Zeit, den Deich vollständig wieder herzustellen. Bei Seedeichen beschränkt sich dagegen die Zwischenzeit auf wenige Stunden, und

oft wird die Durchströmung des Bruchs gar nicht unterbrochen, indem der hart eingehende Strom in einen eben so heftig ausgehenden umsetzt, und diese Bewegungen dauern auch während der ganzen Zeit fort, in welcher der Deich geschlossen wird. Es ergiebt sich hieraus, dafs man zu ganz andern Mitteln greifen mufs, als wenn es sich nur um die Wiederherstellung eines oberländischen Deichs handelt. Glücklicher Weise sind an der Deutschen Nordsee-Küste die Deiche meist so günstig situirt, dafs Brüche in denselben nur selten vorkommen, nichts desto weniger darf dieser Fall hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden. In den Niederlanden, wo solche Unglücksfälle sich häufiger wiederholen, hat man über die Erfolge der verschiedenen Methoden, die alsdann zur Anwendung kommen, vielfache Erfahrungen gesammelt.

Nach einem erfolgten Durchbruch kommt zunächst die Wahl der neuen Deichlinie oder die Frage in Betracht, ob der neue Deich aufserhalb oder innerhalb des Kolks ausgeführt, oder vielleicht durch den letztern hindurch geschüttet werden soll. Geht man auf der äufsern Seite herum, so ist eine Aufschlickung des Kolks unmöglich, derselbe behält also beständig seine Tiefe und bleibt mit Wasser gefüllt. Wenn man ihn nicht etwa später zuschüttet, so ist die Fläche, die er einnimmt, für immer der Benutzung entzogen. In dieser Beziehung ist es vortheilhafter, den Deich auf der Landseite um den Kolk zu legen. Ein tiefer Kolk an der Binnenseite befördert in hohem Grade das Durchquellen des Wassers, während die grofse Tiefe an der äufsern Seite den Wellenschlag und dessen schädliche Wirkungen verstärkt. Dafs die Wirkung der Wellen eben sowol gegen vorspringende, wie gegen zurücktretende Ecken sehr nachtheilig ist, ist bereits erwähnt. Aus diesen Gründen wird bei Seedeichen häufiger als an Stromdeichen die frühere Linie beibehalten und der Kolk durchdeicht. Nur unter besonders günstigen Umständen und wenn hohes Vorland den nöthigen Schutz gewährt, führt man den neuen Deich auf der innern Seite des Kolks herum, und wenn letzterer verlandet ist, so stellt man die frühere günstigere Linie wieder her. Auch sonst entschliefst man sich zuweilen wegen der geringern Kosten oder um den Schlufs des Deichs möglichst bald darzustellen, zu einem

der beiden ersten Auswege und legt den neuen Deich vor oder hinter den Kolk.

Wenn der Durchbruch nicht sowol durch Wellenschlag und Zerstörung der äufsern Dossirung, als vielmehr durch Ueberströmung oder durch Quellungen veranlafst ist, so geschieht es häufig, dafs der äufsere Fufs des Deichs noch erhalten ist und der vortretende Rand desselben nur wenig unter dem gewöhnlichen Hochwasser liegt. In diesem Fall ist die Wiederherstellung nicht schwierig und man pflegt alsdann sogleich auf diesem höchsten Rande durch Aufkarren von Erde einen kleinen Kadedeich auszuführen, dessen Krone bis über die gewöhnlichen Springfluthen heraufreicht. Derselbe wird nur schwach profilirt, da er nur kurze Zeit in Wirksamkeit bleiben soll, man bedeckt ihn auch nicht mit Rasen, sondern sichert ihn nur auswärts durch Strauch, worunter wieder Stroh und dergleichen liegt. Im Schutz dieses Deichs kann sogleich die Erdanschüttung beginnen, welche den spätern Deich bilden soll, der in solchem Fall die Richtung des ältern wieder einnimmt.

Indem die Beischaffung der hierzu erforderlichen Erde oft grofse Schwierigkeiten macht, so ist es in vielen Fällen vortheilhaft, statt der mit Dossirungen versehenen kleinen Erddeiche schwache Fangedämme zu erbauen. Leichte Pfähle werden etwa in 3 Fufs Abstand von einander eingestofsen, an den äufsern Seiten mit Gurtungen versehn und diese durch aufgekämmte Zangen gegenseitig verbunden, um das Ausweichen zu verhindern. An den innern Seiten werden alsdann Bohlen gegen die Pfähle gelehnt und der Zwischenraum wird am besten mit gutem Thon, oder wenn solcher nicht zu beschaffen ist, mit Mist oder andern feinen und schweren Stoffen ausgefüllt.

Dieselben Mittel kann man auch anwenden, wenn ein hohes Vorland noch vor dem Durchbruch liegt, in welchem sich keine tiefe Rinne gebildet hat, die bei Fluth und Ebbe einen starken Strom aufnimmt. Man hat alsdann während des niedrigen Wassers hinreichende Zeit, um einen grofsen Theil des Abschlusses darzustellen und das jedesmalige Ende desselben hinreichend zu sichern. Sollten aber vielleicht auch tiefere Einrisse vorkommen, die jedoch keine zusammenhängende Rinne darstellen, also nicht stark durchströmt werden, so lassen sich solche mittelst

der beschriebenen Fangedämme gleichfalls durchbauen. Statt der Bohlenwände genügen aber für geringe Höhen auch Stülpwände, und wenn der Damm gröfsere Höhe erhalten soll, mufs seine Breite dieser entsprechen.

Dieses Verfahren ist jedoch nur von Erfolg, wenn in der Deichlinie selbst oder im Vorlande ein so hoher Rücken liegt, dafs die Ueberströmung erst gegen das Ende der Fluth beginnt und alsdann auch keine besondere Stärke annimmt, vielmehr nur in einem sanften Ein- und Ausfliefsen des Wassers besteht. Wenn dagegen der Aufsendeich sehr niedrig, oder nur von geringer Breite, oder vielleicht gar nicht vorhanden war, so pflegt der Deich beim Durchbruch vollständig zerstört zu werden, indem alsdann eine tiefe Rinne von der Seeseite aus bis zum Binnenlande sich bildet. In dieser tritt bei jeder Fluth und Ebbe eine sehr heftige Strömung ein, welche die Erde, die man etwa zur Darstellung des erwähnten kleinen Deichs hineinschütten wollte, sogleich mit sich reifsen würde. Auch jene Fangedämme haben darin keinen Bestand, wenn man solche noch ausführen könnte. Man mufs alsdann zunächst sich bemühn, die starke Strömung, die abwechselnd in der einen und der andern Richtung eintritt, zu mäfsigen. Dieses geschieht in verschiedener Weise.

Zuweilen genügt hierzu die Zurücklegung des neuen Deichs, der jedoch alsdann soweit von dem Bruch sich entfernen mufs, bis das einstürzende Wasser bereits seine Geschwindigkeit verloren hat. Andrerseits schwächt man den Strom in dem Bruch auch dadurch, dafs man den letztern künstlich noch erweitert oder die Enden des Deichs abgräbt und hierdurch ein weiteres Durchflufs-Profil bildet. So lange die Oeffnung nämlich sehr klein bleibt, so tritt das ungünstige Verhältnifs ein, dafs zwischen den beiderseitigen Wasserständen dauernd eine starke Niveaudifferenz bleibt, und die Ausgleichung nur während sehr kurzer Zeit erfolgt. Wenn nämlich auf der Seeseite das Wasser seine gröfste Höhe erreicht, ist es im Binnenlande noch bedeutend niedriger, die Einströmung dauert also im Anfange der Ebbe noch fort, und beide Wasserstände kommen erst später in gleiches Niveau, also zu einer Zeit, wo das äufsere Wasser schon

sehr stark abfällt, wie sich dieses aus der Form der Fluthwellen ergiebt. Die Folge hiervon ist, dafs nur ein momentaner Stillstand eintritt, und die noch kräftige Einströmung plötzlich in eine sehr starke Ausströmung umsetzt. Auch beim niedrigen Wasser geschieht dasselbe. Der Polder ist noch stark angefüllt, wenn die Ebbe aufhört, er entleert sich daher noch während der ersten Zeit der Fluth, und nur wenn letztere schon stark ansteigt, hört die Ausströmung auf und geht unmittelbar in die Einströmung über. Diese Uebelstände lassen sich vermeiden und man kann sowol beim Hochwasser, als beim Niedrigwasser für kurze Zeit den Strom unterbrechen und mäfsigen, wenn man die Verbindungs-Oeffnung so weit macht, dafs das Binnenwasser nahe übereinstimmend mit dem äufsern steigt und sinkt. Man sieht sich zu diesem eigenthümlichen Verfahren zuweilen schon dadurch gezwungen, dafs man bei dem ununterbrochenen heftigen Strom gar nicht im Stande ist, die nöthigen Tiefenmessungen vorzunehmen, und sonach die Ausdehnung der Zerstörung, die beseitigt werden soll, nicht ermittelt werden kann.

Endlich giebt es noch ein drittes, gewifs sehr sicheres aber auch sehr kostbares und zeitraubendes Verfahren, um die Strömung in dem Bruch, den man durchbauen will, zu mäfsigen. Dieses besteht darin, dafs man den Polder durch schwache Zwischendeiche nach und nach verkleinert. In demselben Maafse, wie die der Inundation ausgesetzte Fläche eine geringere Ausdehnung annimmt, vermindert sich auch die zu ihrer Anfüllung erforderliche Wassermenge. Die Abschlufsdeiche, die man zu diesem Zweck erbaut, und für welche man ein möglichst günstiges Terrain aussucht, bleiben im Binnenlande und sind daher einem starken Angriff der Wellen nicht ausgesetzt. Aus diesem Grunde brauchen sie nur leicht zu sein, auch genügt es, sie nur wenig über gewöhnliche Springfluthen zu legen, da vor Eintritt des Winters der Bruch im Hauptdeich doch jedenfalls geschlossen werden mufs. Die sehr grofse Länge, die sie erhalten müssen, um die entsprechenden Theile des Polders nach und nach abzuschliefsen, macht ihre Ausführung sehr mühsam und kostbar. Als im Jahre 1729 ein Deich neben dem Dorkumer-Diep, das in den Laauwer See ausmündet, gebrochen war, konnte der Bruch nicht früher geschlossen werden, als bis man

den inundirten Polder dreimal hinter einander durch Abschlufsdeiche auf eine sehr kleine Fläche beschränkt hatte.

Wenn durch die angegebenen Mittel die Strömung auch gemäfsigt wird, so kann dieselbe dadurch doch keineswegs ganz aufgehoben werden, und wenn aufserdem eine tiefe Rinne sich vollständig ausgebildet hat, so ist diese durch Erdschüttungen oder leichte Fangedämme nicht mehr zu schliefsen. Es ist daher am einfachsten, in solchem Fall den sehr schwierigen Schlufs an derjenigen Stelle vorzunehmen, wo man den Deich hinlegen will. Man darf dabei aber Anfangs, und zwar so lange ein kräftiger Strom noch hindurchgeht, weder Erde noch auch andres leichtes Material anwenden, das vom Wasser gelockert und fortgerissen werden könnte. Nur fest verbundene Faschinen, also vorzugsweise Senkstücke, sind unter diesen Umständen der Zerstörung nicht ausgesetzt, und wenn solche auch keineswegs einen wasserdichten Schlufs geben, so mufs man sie doch zur Schliefsung des Kolks verwenden, weil etwa Steinschüttungen in den Seemarschen noch viel kostbarer sein würden.

Zunächst kommt es darauf an, in den kurzen Zwischenzeiten, wo die Strömung ganz aufhört, oder doch sehr mäfsig wird, das Profil des Durchbruchs, welches geschlossen werden soll, möglichst genau zu messen und hiernach die ganze Disposition über den auszuführenden Bau zu treffen, damit letzterer geregelten und möglichst schnellen Fortgang hat, und nicht etwa in Folge eines unvorhergesehenen Mangels an Material unterbrochen werden mufs.

Storm Buysing giebt*) eine ausführliche Beschreibung eines solchen Baues, die wohl am Passendsten zur Darstellung des ganzen Verfahrens in den wesentlichsten Punkten hier mitzutheilen sein dürfte.

Es wird ein specieller Fall vorausgesetzt. Es ist nämlich ein Deich an einem Ufer gebrochen, vor welchem der gewöhnliche Fluthwechsel $12^3/_4$ Fufs mifst. Der Kolk ist in der Deichlinie unter Niedrigwasser 15 Fufs tief, und in der Höhe des letztern 460 Fufs breit. Der Deich soll bis $12^3/_4$ Fufs über das gewöhnliche Hochwasser heraufgeführt werden, eine

*) Bouwkundige Leercursus. 1854. I. Seite 659 ff.

Kronenbreite von $6\frac{1}{2}$ Fufs, eine Binnendossirung von $1\frac{3}{4}$facher und eine Aufsendossirung von 4facher Anlage erhalten. Aufserdem soll ihm in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers eine Binnenberme von 19 Fufs und eine äufsere Berme von $12\frac{3}{4}$ Fufs Breite gegeben werden. Die äufsere Berme besteht über dem gewöhnlichen Niedrigwasser aus Packwerk, das auf der Deichseite ganz steil, auf der Seeseite aber, wie in den Niederlanden üblich, nur mit $\frac{1}{4}$facher Anlage ausgeführt ist. Die innere Berme dagegen besteht nur zum Theil aus Packwerk, das eben so tief, wie das erste herabreicht, aber 4 Fufs hoch mit Erde überschüttet, auch nicht breiter, als das erste ist, indem sich landwärts eine Erdschüttung von durchschnittlich 11 Fufs Breite dagegen lehnt. Zwischen diesen beiden Prismen aus Packwerk wird der innere Raum von 80 Fufs Breite mit zäher Klaierde angefüllt und derselbe bildet zugleich die Basis des eigentlichen Deichs, dessen Dossirungen theils an den innern Rand des äufsern Packwerks, und theils an die Vertical-Ebene reichen, welche das innere Packwerk begrenzt.

Die beiderseitigen Packwerke ruhn auf Senkstücken, welche die Erdschüttung unter dem Deich einschliefsen. Die obern Senkstücke treten an den äufsern Seiten, sowol land- als seewärts etwa 10 Fufs vor die Packwerke vor, und die folgenden bilden in stufenförmigen Absätzen durchschnittlich Dossirungen von zweifacher Anlage, während sie an den innern Seiten, wo sie die Erdschüttung begrenzen, etwa $1\frac{1}{2}$fache Anlage in ihren Absätzen darstellen. Die beiderseitigen äufsern Böschungen sind jedoch nach der vorliegenden Beschreibung in den verschiedenen Höhen verschieden, indem sie unten etwas flacher und oben etwas steiler gehalten werden sollen. Die Stärke oder Höhe der Senkstücke wird zu 3 Fufs angegeben. Die untersten erhalten viel gröfsere Breiten, als sie nach den angegebenen Dossirungen haben würden. Sie treten nämlich so nahe zusammen, dafs nur ein freier Raum von 10 Fufs Breite zwischen ihnen bleibt, und zwar geschieht dieses, um Anfangs die Erdschüttung dem Angriff des Stromes möglichst zu entziehn. Dieser freie Raum liegt senkrecht unter der Deichkrone. Sodann springen die untern Lagen sowol seeseitig, als landseitig 30 Fufs weit vor die nächste Lage vor, indem sie wegen des überstürzenden Wassers

als Sturzbette dienen sollen. In dieser Weise erhält die unterste Lage auf der Seeseite eine Breite von 125 Fufs und auf der Landseite von 105 Fufs. Diese Breiten sind zu grofs, als dafs man sie in einem Senkstück darstellen könnte, was um so schwerer sein würde, als es von grofser Wichtigkeit ist, sehr wenige Querfugen anzubringen, oder am besten solche ganz zu vermeiden, also die einzelnen Stücke über den ganzen Kolk hinüberreichen zu lassen. Die äufsere Lage soll daher aus drei und die innere aus zwei Tafeln zusammengesetzt sein, die ihrer Länge nach neben einander liegen.

Vor dem Versenken der Stücke bemüht man sich, den Boden durch Anfüllen der tiefern Einsenkungen mit Thon möglichst zu ebenen. Alsdann bindet man die Senkstücke ab, worüber bei Gelegenheit des Hafenbaues ausführlicher die Rede sein wird. Hier wäre nur zu bemerken, dafs die Methoden, die man in den Niederlanden dabei anwendet, viel einfacher, als die unsrigen sind, woher man in kürzrer Zeit grofse Stücke darstellen kann. Man baut dieselben auch nicht auf Rüstungen, worauf sie vollständig aufliegen, vielmehr werden sie am Rande des Ufers gepackt und gebunden, und sobald ein Theil fertig ist, so schiebt man denselben ins Wasser, indem man dabei gewöhnlich das Steigen der Fluth benutzt. So kann es geschehn, dafs man die langen Senkstücke in kurzer Zeit vollendet und versenkt. Dieselben werden jedesmal durch verschiedene Taue in der richtigen Lage gehalten und indem sie bei der geringen Dicke nur einen kleinen Theil des Profils sperren, so sind sie keinem übermäfsigen Andrange des Wassers ausgesetzt. Die Versenkung erfolgt jedesmal, wenn die Strömung aufgehört hat.

Die Zwischenräume zwischen den beiderseitigen Senkstücklagen werden mit guter Erde gefüllt und die auf beiden Seiten stufenförmig vortretenden Enden der Senkstücke mit Bauschutt bedeckt, so dafs sich hier die beabsichtigten Dossirungen bilden. Die untern Senkstücklagen steigen auf den beiderseitigen Ufern an, alle folgenden werden horizontal aufgebracht. Sie bilden die Unterlagen der bereits erwähnten prismatischen Packwerke, welche die Erdschüttung einschliefsen, die man auch sogleich aufbringt. Letztre mufs aber, sobald sie beim kleinsten Wasser sichtbar wird, durch Ueberdeckung mit Strauch gegen den Angriff des

Stroms geschützt werden, und diese Decke ist jedesmal zu beseitigen, so oft eine neue Schüttung darüber kommt. Aufserdem ist dafür zu sorgen, dafs die jedesmalige Oberfläche nach der Seeseite leicht entwässert. Zu diesem Zweck wird das landseitige Packwerk immer einige Fufs höher gehalten, als das gegenüber liegende, und die Erdschüttung ist in gleicher Weise geneigt, so dafs sie sich an beide anschliefst. Man pflegt auch das seeseitige Packwerk so niedrig zu lassen, dafs bei jedem Hochwasser die Fahrzeuge, welche die Erde anbringen, darüber gehn können. Es wird alsdann in voller Höhe erst dargestellt, wenn der gröfste Theil des Deichs bereits geschüttet ist.

Sobald endlich das landseitige Packwerk bis 3 oder 4 Fufs unter gewöhnliches Hochwasser aufgeführt ist und die Erdschüttung daneben dieselbe Höhe hat, so wird der vollständige Abschlufs des Wassers durch einen leichten Schlufsdamm bewirkt. Letztrer ruht auf der Erdschüttung und lehnt sich mit seiner landseitigen Dossirung gegen das innere Packwerk. Seine Krone von 4 Fufs Breite ragt etwas über gewöhnliche Springfluthen hervor. Seine beiderseitigen Böschungen erhalten nur einfache Anlage. Obwohl es sehr wünschenswerth ist, diesen Abschlufs möglichst bald zu machen, weil der Polder nicht früher trocken gelegt werden kann und das Fluthwasser dauernd über die Krone des Packwerks darin einströmt, so darf man dennoch diese wichtige Arbeit nicht zu früh und nicht bei ungünstiger Witterung vornehmen. Die Erdschüttung darunter mufs hinreichende Zeit gehabt haben, sich genügend zu setzen, indem man aber die lose Erde aufbringt, mufs das Wasser abgesehn von der Strömung, ganz ruhig sein und darf nicht Wellen schlagen. Man wartet daher stilles Wetter und das Eintreten von Landwind ab, während Alles vorbereitet wird, um den Schlufs möglichst schnell fertig stellen zu können. Sollte gegen Erwarten während der Schüttung dieses Damms eine besonders hohe Fluth oder ein starker Seewind eintreten, so wird die aufgebrachte Erde fortgespült und die Arbeit mufs später aufs Neue gemacht werden.

Ist dieser Damm zum Schlufs gebracht, so hat auch die Ueberströmung aufgehört, und die Ausführung des eigentlichen Deichs in gewöhnlicher Weise bietet keine weitere Schwierigkeit.

Die erforderliche Erde wird immer von der Seeseite aus angefahren, indem man sie von hohen Aufsendeichen entnimmt, wenn dieselben auch in einiger Entfernung liegen. Damit nun die Fahrzeuge, worin sie angefahren wird, immer möglichst nahe und bequem anlegen und bei Schüttung des kleinen Schlufsdeichs selbst bis an diesen gelangen können, so wird das äufsere Packwerk, wie bereits erwähnt, erst später bis zur vollen Fluthhöhe heraufgeführt.

Dafs bei solchem Deich noch ein bedeutendes Sacken eintritt, ist klar, und man mufs deshalb gleich Anfangs alle Theile in gröfserer Höhe ausführen, als sie später haben sollen. Sehr grofse Vorsicht mufs aber darauf verwendet werden, dafs bei den starken Durchquellungen nicht grofse Erdmassen aus dem Innern abgeführt werden. In dieser Beziehung ist es besonders wichtig, dafs die Stofsfugen der Senkstücke nicht zusammentreffen, vielmehr in den einzelnen Lagen gehörig abwechseln, wenn man sie nicht, wie bereits erwähnt, ganz vermeiden kann. Jedenfalls mufs aber auch jede nächste Lage sowol die Lang- als die Querfugen der darunter befindlichen überdecken. Dieser Vorsicht unerachtet zeigt sich ein solcher Deich doch immer als ziemlich undicht und am meisten wird das Durchquellen des Wassers durch den Erdkern im Innern des Deichs verhindert, der von der Sohle des Kolks bis zur Krone heraufreicht. Es mufs daher grofse Sorgfalt darauf verwendet werden, dafs dieser nur aus fester und dicht gelagerter Erde besteht.

Eigenthümlich ist das Verfahren, das von Hawkschaw in England gewählt wurde, um einen Deichbruch am Ouse-Canal, wo derselbe noch einem starken Fluthwechsel unterworfen ist, zu schliefsen. In eine Niederung von nahe 10000 Morgen Fläche strömte bei jeder Fluth und Ebbe das Wasser heftig ein und aus. In gewöhnlicher Art wurde der Durchflufs bis auf 88 Fufs beschränkt, nunmehr rammte man in $7\frac{1}{2}$ Fufs Entfernung je zwei Pfähle in 7 Zoll Abstand ein, versah dieselben mit einer Laufbrücke und sobald beim niedrigsten Wasserstand die Strömung aufhörte, schob man gleichzeitig in alle Oeffnungen starke Holztafeln, wie Schütze, zwischen die Pfähle. Dadurch

wurde die fernere Durchströmung aufgehoben und die vollständige Schliefsung konnte leicht erfolgen*).

Es wäre noch zu erwähnen, dafs man hinter sehr bedrohten Deichstrecken zuweilen noch Binnendeiche ausführt, um im Fall eines Durchbruchs nicht gar zu grofse Landflächen der Inundation Preis zu geben und um zugleich die ein- und ausgehende Strömung möglichst zu mäfsigen. Man erreicht hierdurch zunächst den grofsen Vortheil, dafs der Bruch weniger erheblich wird, weil im Verhältnifs zu der überströmten Fläche weniger Wasser hindurchfliefst, und hierdurch wird es leichter, den Bruch zu schliefsen. Diese Rückdeiche (Inlaagdijken) pflegen etwa 100 Ruthen hinter den Hauptdeichen zu liegen. Sie brauchen nur schwach profilirt zu sein, da sie beim Brechen des Hauptdeichs keinem erheblichen Wellenschlage ausgesetzt sind, für ihre gehörige Unterhaltung mufs aber immer Sorge getragen werden. In manchen Fällen ist mit Sicherheit vorauszusehn, dafs der äufsere Deich für die Dauer nicht gehalten werden kann, dafs also ein solcher Rückdeich einst Hauptdeich werden mufs. Alsdann empfiehlt es sich, demselben wenn auch nicht die volle Kronenhöhe und Kronenbreite, doch wenigstens diejenige flache äufsere Böschung zu geben, die er später haben mufs. Wenn die Anlagekosten sich dadurch auch wesentlich vergröfsern, so tritt dabei doch der Vortheil ein, dafs, so lange der Deich nicht in Wirksamkeit kommt, diese Böschung als Weide beinahe denselben Ertrag giebt, wie der frühere horizontale Boden unter ihr, während eine steile Böschung nur wenig benutzt werden kann und gröfsere Aufmerksamkeit in der Unterhaltung erfordert.

In den Niederlanden sind Anlagen dieser Art wiederholentlich ausgeführt. So besteht ohnfern Delft hinter der schwachen, durch Uferbauten gesicherten Dünenkette, von dem Maasdeiche nordwärts abgehend bis jenseits Terheyde ein Binnendeich, während bei Loosduinen ein andrer kürzerer sich befindet. Beide haben nur den Zweck, dafs sie bei einem möglichen Durchbruch der Dünen das dahinter liegende Land sichern.

---

*) Zeitschrift des Ingenieur- und Architect-Vereins in Hannover. Band IX, 1863. Seite 407.

In der Provinz Friesland, die besonders tief liegt, sind aus demselben Grunde verschiedene und zum Theil sehr lange Binnendeiche erbaut worden. Dieselben haben sich bereits bewährt. Als nämlich bei der sehr hohen Sturmfluth am 4. und 5. Februar 1825 der Hauptdeich an dreifsig Stellen durchbrach, hielten sie von verschiedenen Theilen der Niederung das Wasser ab.

§ 19.

Siele.

Die eingedeichten Niederungen neben dem Meere müssen eben so, wie diejenigen, welche an den obern Stromtheilen liegen, mit den nöthigen Vorrichtungen zur Entwässerung versehn sein. Ueber die Anordnung der Gräben im Innern ist nichts Besonderes zu erwähnen, dagegen zeigen die Entwässerungs-Schleusen oder Siele manche Eigenthümlichkeiten.

Die Marschen, von denen hier die Rede ist, liegen jederzeit an Meeren, an Strömen oder an Busen, welche einem gröfsern oder kleinern, aber doch immer einem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind. Die Auswässerung ist um so stärker, je gröfser das Gefälle oder je tiefer das äufsere Wasser gesunken ist. Häufig genügt indessen selbst das gröfste Gefälle, das sich beim Fluthwechsel bildet, nur nothdürftig, um die Auswässerung so zu beschleunigen und so vollständig zu bewirken, wie die landwirthschaftlichen Verhältnisse dieses fordern. Dieses ist fast bei allen Marschen im ersten Frühjahr oder nach anhaltendem Regen der Fall. Oft liegen die eingedeichten Flächen auch so niedrig, dafs sie beinahe das ganze Jahr hindurch einer kräftigen Auswässerung entbehren, indem zugleich das Grund- und Quellwasser stärker, als in höher belegene Polder eindringt.

Während jedes Hochwassers wird die Ausströmung vollständig unterbrochen, indem alsdann nicht nur das Gefälle aufgehoben wird, sondern ein solches sich sogar in entgegengesetzter Richtung bilden würde, wenn die Schleuse geöffnet bliebe. Aus diesem Grunde mufs letztere in kurzen Zwischenzeiten, nämlich in Perioden von etwas über 12 Stunden geöffnet und

geschlossen werden. Die Entwässerung fordert aber die möglichste Aufmerksamkeit in der Handhabung der Schütze oder sonstigen Vorrichtungen, damit weder der Abfluſs verzögert wird, noch auch die Schleuse so lange offen bleibt, daſs das Meerwasser in den Polder einströmt. Dabei kommt auch noch der Umstand in Betracht, daſs dieser Dienst sich keineswegs auf die Tagesstunden beschränkt, sondern häufig mitten in der Nacht versehn werden muſs, und bei der ungünstigsten Witterung die gröſste Sorgfalt erfordert. Das Ziehn der Schütze wäre sonach bei den Entwässerungs-Schleusen am Meer überaus beschwerlich, und ob es stets regelmäſsig ausgeführt wird, lieſse sich kaum controliren, namentlich da viele dieser Schleusen an abgelegenen Orten sich befinden.

Aus diesem Grunde pflegt man solche Vorrichtungen zum Schlieſsen der Oeffnungen zu wählen, die von selbst und zwar durch den wechselnden Wasserstand auf der äuſsern Seite in Thätigkeit gesetzt werden. Die gewöhnlichste unter diesen Vorrichtungen besteht in Stemmthoren, die nach der Seeseite aufschlagen. Sobald bei der Ebbe der äuſsere Wasserstand bis unter den innern herabgesunken ist, so werden die Thore von selbst durch den Druck geöffnet, und die Auswässerung beginnt. Dieselbe dauert so lange, bis während der Fluth das äuſsere Wasser etwas über das innere gestiegen ist. Alsdann tritt eine entgegengesetzte Strömung ein, und wenn die Thore nicht ganz zurückgeschlagen waren, was man durch besondere Vorkehrungen verhindern muſs, so werden sie von dem eingehenden Strom gefaſst und geschlossen. Das äuſsere Wasser kann alsdann nicht mehr ins Binnenland eindringen, wenn die Fluth auch zu groſser Höhe ansteigt.

Eine andre eigenthümliche Anordnung dieser Schleusen wird durch den Wellenschlag veranlaſst, dem sie ausgesetzt sind. Man pflegt zwar, in sofern jede Schleuse unbedingt eine schwache Stelle im Deich bildet, sie immer so zu legen, daſs sie möglichst geschützt sind, und von den heftigsten Wellen nicht getroffen werden, doch läſst sich diese Vorsicht selten so weit ausdehnen, daſs die Gefahr wirklich unter allen Umständen verschwindet, und oft bietet die Richtung und Lage des Deichs, wenn man ihn nicht in andrer Beziehung gefährden und etwa

mit vorspringenden Ecken versehn will, keine gesicherte Stellung der Schleuse. Sobald ein heftiger Wellenschlag eintritt, so wirkt derselbe immer am zerstörendsten, wo die Regelmäfsigkeit des Ufers unterbrochen wird, und dieses läfst sich im Anschlufs der Erdböschung an die Mauern oder Bohlwände, welche die Flügel der Schleuse bilden, nicht vermeiden. Man müfste also immer besorgen, dafs neben der Schleuse die Erde ausgespült würde, und indem mit der zunehmenden Unregelmäfsigkeit der Böschung auch der Angriff gegen solche Stelle sich verstärkt, so wäre die Gefahr eines Deichbruchs hier besonders grofs. Man würde allerdings durch Bedeckung der Dossirung mit Steinen diese Gefahr bedeutend vermindern können, aber abgesehn von den grofsen Kosten der Anlage und Unterhaltung solcher Deckung, verdient doch immer die gleichmäfsige Durchführung der Erdböschung den Vorzug.

Wenn die bequeme Handhabung der Schütze in den Entwässerungs-Schleusen des Binnenlandes die Ueberdeckung der letzern verbietet, so fällt diese Rücksicht bei Seeschleusen oder Sielen fort. Man läfst daher die Durchflufs-Oeffnung im Siel nur so weit frei, wie die Abwässerung oder vielleicht auch der Durchgang kleiner Fahrzeuge es nöthig macht, und führt den Deich darüber. Man erreicht dadurch den wesentlichen Vortheil, dafs bei Anschwellungen des Meeres oder Stroms die Schleusenthore tief unter Wasser bleiben und dem Angriff der Wellen ganz entzogen sind, während die Krone und der obere Theil der äufsern Dossirung des Deichs ohne Unterbrechung sich darüber fortsetzt. Ist das Siel massiv, so besteht seine Decke aus einem Gewölbe, beim Holzbau dagegen gewöhnlich aus einer dicht schliefsenden Lage starker Balken, welche die Erdschüttung trägt. Bei niedrigem Wasser und zuweilen selbst bei gewöhnlichen Fluthen, sind die Thore nebst den Flügelwänden sichtbar und das Ufer gestaltet sich daher verschiedenartig, aber alsdann ist wegen des niedrigen Wasserstandes auf dem Vorlande der Wellenschlag selbst bei Sturm noch nicht besonders zu fürchten. Anders verhält es sich bei den höchsten Wasserständen, wobei der Wellenschlag den Deich in der Nähe der Krone am stärksten angreift, und hier ist durch diese Einrichtung jede Ungleichmäfsigkeit verschwunden.

Solche überdeckte und mit Stemmthoren versehene Entwässerungs-Schleusen, die mit seltenen Ausnahmen in den Seedeichen allgemein üblich sind, nennt man Siele. Dieselbe Benennung giebt man freilich zuweilen auch den Entwässerungs-Schleusen an den Deichen der oberländischen Ströme, sobald sie mit Stemmthoren versehn sind. Letztres kommt jedoch nur selten vor, und ist nicht zu empfehlen, da der Wasserwechsel hier nur in langen Perioden eintritt, also das Oeffnen und Schliefsen der Schütze sehr sicher durch die Wärter ausgeführt werden kann. Siele sind daher im Allgemeinen nur bei den Seedeichen im Gebrauch.

Bei Anordnung der Siele kommen verschiedene Umstände in Betracht. Zunächst ist die Stelle, wo ein solches erbaut werden soll, mit Vorsicht auszuwählen. Eine Rücksicht, welche für die Entwässerungs-Schleusen an den obern Stromtheilen von besonderer Bedeutung ist, dafs dieselben nämlich an den untern Enden der Deiche liegen müssen, kommt bei den Sielen in eigentlichen Seedeichen nicht in Betracht, weil vor diesen das Wasser gleich tief zu ebben pflegt, wenn sie auch eine grofse Ausdehnung haben. Dagegen ist bei Seedeichen, die sich auf grofse Länge zur Seite eines Stroms hinziehn, dieselbe Rücksicht allerdings zu beachten, weil der Wasserstand am Ende der Ebbe um so tiefer ist, also die Entwässerung um so vollständiger erfolgt, je näher die Stelle an der offenen See liegt. Gewöhnlich wird dieser Unterschied jedoch so geringfügig, dafs man ihn unbeachtet lassen darf, und sonach die Wahl der Baustelle nur von andern Rücksichten abhängt.

Vorzugsweise kommt es darauf an, das Siel vor dem stärksten Wellenschlag und dem Angriff des Stroms und Eises möglichst zu sichern. In dieser Beziehung wird man die Baustelle, so viel geschehn kann, in eine Deichstrecke zu verlegen suchen, die den heftigsten Winden weniger ausgesetzt, oder durch davor liegende Inseln und vorspringende Ufer gegen einen starken Seegang geschützt ist. Auch mufs man vermeiden, sie in eine Deich-Concave zu legen, wenn sich längs derselben ein starker Strom hinzieht, oder ein besonders heftiger Andrang des Eises zu besorgen ist. In beiden Beziehungen ist es vorzugsweise

wichtig, das Siel im Schutz eines breiten und hohen Vorlandes zu erbauen.

Die letzte Rücksicht ist oft mit einer andern unvereinbar, welche eben so wichtig ist. Das Siel mufs nämlich durch eine hinreichend weite und tiefe Rinne, oder durch das sogenannte Sieltief mit dem eigentlichen Stromschlauch oder mit der offnen See in Verbindung bleiben. Ist dieses Tief sehr lang und dabei enge, gekrümmt und flach, wie oft geschieht, so bildet sich darin zur Zeit des niedrigen Wassers, also während die Auswässerung erfolgt, ein starkes Gefälle, oder der Wasserstand unmittelbar vor dem Siel bleibt merklich höher, als der des offnen Stroms oder des Meers. Die Entwässerung der eingedeichten Niederung kann alsdann nicht so schnell und so vollständig erfolgen, als wenn das Sieltief von diesen Mängeln frei wäre, die immer um so auffallender sind, je breiter und höher das Vorland ist.

In vielen Fällen ist die Baustelle für das Siel schon sehr bestimmt gegeben. Wenn nämlich der Groden, den man neu eindeichen will, vor andern Niederungen liegt, die durch ihn entwässern, oder wenn vielleicht sogar noch aus weiter Entfernung das Regenwasser hier abgeführt werden mufs, so hat sich das Sieltief nach den frühern Verhältnissen vollständig ausgebildet, und wenn man das neue Siel von diesem weit entfernen wollte, so müfste man nicht nur einen ganz neuen Entwässerungsgraben auf der Binnenseite, sondern auch ein neues Sieltief auf der äufsern Seite darstellen. Die Kosten dafür würden die ganze Anlage wesentlich vertheuern, und dazu käme noch der Uebelstand, dafs der innerhalb des neuen Deichs belegne Theil des alten Sieltiefs eine Schlenke bilden würde, die keinen Ertrag gäbe. Man ist daher fast jedesmal gezwungen, das neue Siel in das alte Sieltief selbst, oder doch nur wenig seitwärts zu verlegen. Das letzte geschieht oft nur, um während des Baues die Auswässerung nicht zu unterbrechen.

Die Beschaffenheit des Grundes ist bei der Wahl der Baustelle noch vorzugsweise zu berücksichtigen. Das Gewicht des Siels ist an sich nicht bedeutend, und bei der Ueberschüttung mit Erde wird es auch nicht gröfser, als das einer gleich langen Deichstrecke. Das Setzen des Untergrundes ist dabei aber sehr nachtheilig, und zwar eben so wohl, wenn das Siel selbst daran

Theil nimmt, als wenn es hieran verhindert wird. Giebt man dem Siel eine feste Fundirung, oder stellt man es auf einen Pfahlrost, so ist es zwar an sich vor dem Einsinken gesichert, aber die Deichanschlüsse zu beiden Seiten senken sich über dem losen Grunde, so weit sie auf solchen treffen, und es bilden sich zwischen ihnen und dem Deich, der auf dem Siel ruht, sehr merkliche Fugen, die von der äufsern Böschung bis zur innern hindurchreichen. Auf diese Art entstehn beim Hochwasser starke Quellen, die immer kräftiger werden und endlich den Durchbruch veranlassen können.

Wenn dagegen das Siel nicht sicher gegründet ist, also flach auf dem Boden liegt, und mit dem Deich sich gleichmäfsig senkt, so findet eine solche Trennung im Deichkörper zwar nicht statt, aber dagegen ist die Senkung des Siels nicht überall gleich grofs, vielmehr unter der Krone des Deichs am stärksten, und an beiden Enden am geringsten, oder sie verschwindet hier ganz. Das Siel nimmt also nach der Längenrichtung eine gekrümmte Form an, und sein Verband löst sich. Bei gewissen Holz-Constructionen kann man diese Durchbiegung theils mäfsigen, indem man den Seitenwänden grofse Steifigkeit giebt, theils auch sie unschädlich machen, indem man die Trennung der Verbandstücke hindert. Solche Anordnung ist auf losem Untergrunde mehrfach mit Erfolg versucht worden, doch ist jedenfalls ein fester Baugrund vorzuziehn.

Endlich ist bei der Wahl der Baustelle auch darauf zu achten, dafs das Sieltief nicht der Gefahr einer zu schnellen Verlandung ausgesetzt sein darf. In demselben findet nur während der letzten Ebbe und der ersten Fluth einige Strömung statt, nämlich so lange das Siel geöffnet ist. Die erdigen Theilchen, welche die Fluth herbeiführt, schlagen demnach in grofser Masse in dem Sieltief nieder, und dasselbe verliert in kurzer Zeit die Tiefe, die man ihm künstlich gegeben hatte. Dazu kommt noch die Wirkung des Wellenschlags, der namentlich bei dem Uebergange über ein unbenarbtes und weiches Watt die Oberfläche desselben ausgleicht, und die Erhöhungen und Vertiefungen darin bald beseitigt. In der Nähe des Siels ist dieses zwar zu verhindern, indem man das Tief mit Packwerk einfafst, auch bleibt die Strömung daselbst noch so wirksam, dafs sie die Verschlammung,

die während der Fluth eingetreten ist, bald wieder beseitigt. In weitern Abständen sind aber die Einfassungen schwer zu erhalten, und die Ausströmung wird immer weniger wirksam, so daſs beim niedrigsten Wasserstand häufig nur ganz flache Rillen auf dem Watt zu bemerken sind, durch welche das Binnenwasser mit starkem Gefälle abflieſst. Die Eigenthümlichkeit des strömenden Wassers, jede Krümmung in seinem Bette nach und nach zu verstärken, verbunden mit den Wirkungen der Fluth- und Ebbe-Strömungen, die vor dem Ufer vorbeiziehn, vergröſsern noch diese Unregelmäſsigkeiten, und so geschieht es, daſs die Auswässerung meist nicht so weit ausgedehnt werden kann, als dieses möglich wäre, wenn die Sieltiefe gehörig geöffnet blieben. In vielen Fällen ist dieser Umstand nicht als nachtheilig zu betrachten, weil die Polder so hoch liegen, daſs eine noch tiefere Senkung des Wasserstands in den Gräben kein Bedürfniſs ist, und selbst der Cultur schaden würde. Bei anhaltender Dürre muſs man sogar oft die weitere Auswässerung unterbrechen, woher die Siele fast jedesmal mit besondern Vorrichtungen an der innern Seite versehn sind, um die Ausströmung des Binnenwassers, so oft es nöthig ist, zu verhindern.

Häufig muſs man noch einen andern Umstand berücksichtigen, der ein möglichst gerades und zugleich hinreichend tiefes Sieltief fordert. Dieses ist die Schiffahrt. Die Siele dienen nämlich in manchen Fällen auch zum Durchgang kleiner Schiffe, und sind alsdann entweder wie Kammerschleusen eingerichtet, oder, wie meist geschieht, der Durchgang der Schiffe findet nur in der Zeit statt, wenn die Thore bereits geöffnet sind. Die von beiden Seiten ankommenden Schiffe müssen daher geräumige und hinreichend sichere Liegeplätze finden, in welchen sie diesen Zeitpunkt abwarten können. Kommt das Schiff aus der See, so ist es gemeinhin sehr schwer, während der Ebbe, also während das Siel geöffnet ist und Ausströmung statt findet, das Tief zu durchfahren. Beim Beginn der Fluth ist dagegen die Strömung günstig, aber es fehlt alsdann der hinreichende Wasserstand im Tief, wenn dieses nicht gehörig offen erhalten ist. Dieser Umstand verursacht oft einen langen Aufenthalt der Schiffe vor dem Siel, bevor sie dasselbe durchfahren können, und da nicht leicht ein gehöriger Hafen daneben eingerichtet ist, so müssen sie im

offenen Wasser und zwischen den Wattgründen liegen bleiben, wo sie bei unruhiger Witterung manchen Gefahren ausgesetzt sind.

Das Mittel, welches man vielfach anwendet, um Sieltiefe periodisch zu räumen, ist dasselbe, das zu gleichem Zweck auch bei binnenländischen Strömen benutzt wird, nämlich der Sielpflug, der bereits im zweiten Theil dieses Handbuchs (§ 50) ausführlich beschrieben ist. Er dient zum Aufkratzen und Fortschieben des noch weichen Schlamms, während der Druck des aus dem Siel strömenden Wassers denselben in Bewegung setzt.

Die meisten Siele, wenn sie auch zum Durchgang kleiner Seeschiffe dienen, sind überdeckt, woher die Maste niedergelegt werden müssen. Der Entwässerungsgraben auf der Binnenseite bildet zugleich den Schiffahrts-Canal, und unmittelbar neben dem Siel pflegt er zu einem weiten Busen verbreitet zu sein. In demselben liegen die aus der Niederung ankommenden Schiffe, bis sie durchgehn können. Diese Verbreitung hat noch für die Entwässerung den wesentlichen Nutzen, daſs eine groſse Wassermenge sich darin ansammelt, die beim Aufgehn der Thore sogleich abflieſst. Sobald dagegen die Thore sich schlieſsen, und die Auswässerung aufhört, so dauert dennoch der Zufluss in diese Bassins aus den weiter zurückliegenden Gräben längere Zeit hindurch fort, bis endlich überall ein gleicher Wasserspiegel eingetreten ist. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung und befördert wesentlich die Auswässerung, wenn die Dauer der Wirksamkeit des Siels beschränkt ist.

Die Sohle des Siels oder die Schlagschwelle muſs, wie gewöhnlich als Regel angenommen wird, unter dem niedrigsten äuſsern Wasserstand liegen, weil sonst die Auswässerung erschwert, auch zu Zeiten ganz behindert werden könnte. Je tiefer sie gesenkt wird, um so grösser ist der Querschnitt der hindurchströmenden Wassermenge, und um so grösser wird zugleich bei demselben Gefälle ihre Geschwindigkeit. Es verstärkt sich also hierdurch der Abfluſs oder die Wirksamkeit des Siels in doppelter Beziehung. Nichts desto weniger können Polder, welche recht hoch liegen, auch ohne die angegebene Senkung des Siels vollständig entwässert werden, während andrerseits die tiefe Lage des Sielbodens wenig nützt, wenn der äuſsere Abfluſsgraben oder das Sieltief stark verflacht ist. Die Anlage eines

Siels wird aber sehr erschwert und vertheuert, wenn dessen Boden einige Fufs tiefer gelegt werden soll, als nothwendig ist, und hierzu kommt noch, dafs derselbe alsdann sowie auch die Thorkammer einer starken Verschlammung ausgesetzt ist, und in kurzen Zwischenzeiten immer gereinigt werden mufs. Aus diesem Grunde scheint es angemessener, in jedem einzelnen Fall die Höhenlage des Bodens nach dem Bedürfnifs und den localen Verhältnissen zu bestimmen, als dabei einer allgemeinen Regel zu folgen. Es mufs jedoch bemerkt werden, dafs man namentlich in den Niederlanden viele Beispiele findet, in welchen die Siele wegen ihrer zu hohen Lage die Auswässerung wesentlich hindern. Wenn endlich ein Siel zum Durchgang von Schiffen bestimmt ist, so mufs gemeinhin die Schlagschwelle noch tiefer, als nach jener Regel, gesenkt werden. Alsdann tritt nämlich die Bedingung ein, dafs bei dem kleinsten Binnenwasser sich noch die nöthige Schiffahrtstiefe über dieser Schwelle darstellen mufs.

Die lichte Höhe des Siels pflegt man in der Art zu bestimmen, dafs die Decke oder die Anfänge des Gewölbes vom höchsten Binnenwasser noch nicht erreicht werden. Wenn Schiffe hindurchgehn sollen, so mufs die Decke oder das Gewölbe noch so weit gehoben werden, dafs der nöthige Zwischenraum für die Schiffe, und zwar beim höchsten Binnenwasser sich darstellt, während die Masten jedesmal niedergelegt werden.

In sofern nach diesen Erörterungen die Höhenlage der Sohle und der Decke eines Siels von der Ausdehnung der Fläche, die durch dasselbe entwässert wird, beinahe ganz unabhängig ist, so mufs derjenige Querschnitt der Oeffnung, der zur Abführung des Binnenwassers erforderlich ist, vorzugsweise durch angemefsne Verbreitung des Siels dargestellt werden. Die hierbei anzustellende Untersuchung stimmt sehr nahe mit derjenigen überein, die zur Bestimmung der Dimensionen der Entwässerungs-Gräben gewöhnlicher Flufsniederungen dient (Theil I dieses Handbuchs § 27), doch wird die Rechnung in sofern schwieriger, als das Gefälle nicht constant ist, vielmehr wegen der Fluth und Ebbe sich fortwährend ändert. Demnächst mufs dabei auch auf das Gefälle im Sieltief zur Zeit des niedrigsten Wassers Rücksicht genommen werden.

Man pflegt die Bedingung zu stellen, dafs der stärkste tägliche

Niederschlag in zwei Auswässerungen abgeführt werden mufs. Je höher die Niederungen sind, um so leichter ist diese Bedingung zu erfüllen, aber um so weniger ist sie auch maafsgebend, da niemals mehrere Tage hinter einander der Niederschlag seine äufserste Grenze erreicht, oder auch nur derselben nahe kommt. Es ist aber meist ohne Nachtheil, wenn nach starkem Regen das Grundwasser etwas steigt und die Gräben für kurze Zeit um einige Zolle sich höher anfüllen. Aus diesem Grunde bestimmt sich die Weite der Siele vorzugsweise nach dem Bedürfnifs der Auswässerung im ersten Frühjahr. Da jedoch in der Nähe der See der Frost nicht so stark, auch nicht so anhaltend zu sein pflegt, als im Binnenlande, so erfolgt das Schmelzen grofser Schneemassen nicht so plötzlich, vielmehr thauen dieselben sehr bald, nachdem sie gefallen sind, auf, und das Wasser wird grofsentheils schon während des Winters abgeführt. Hiernach darf angenommen werden, dafs in etwas höhern Poldern die Entwässerungs-Anlagen nicht so kräftig zu sein brauchen, als in Poldern von gleicher Gröfse an oberländischen Strömen. Wenn dagegen die Marsch sehr niedrig ist, und zugleich durch Quellwasser gefüllt wird, so mufs für eine kräftigere Auswässerung gesorgt werden.

Hunrichs *) hat versucht, aus Erfahrungen das Verhältnifs der Durchflufs-Oeffnung des Siels zu der Gröfse des Polders festzustellen. Er ist dabei zu dem Resultat gekommen, dafs in der Regel für 50 Jück oder 3 Millionen Quadratfufs Land 1 Quadratfufs Durchflufs-Oeffnung im Siel genügt. Hiernach würde eine Fläche von 115 Preufsischen Morgen nur 1 Quadratfufs Siel-Oeffnung bedürfen. Diese Regel soll aber nur für Niederungen gelten, die wenigstens 5 bis 6 Fufs über dem gewöhnlichen Niedrig-Wasser liegen.

Tetens **) tadelt mit Recht den Versuch, eine solche allgemeine Regel aufstellen zu wollen, da die Verhältnisse in jedem Fall verschieden sind, und wesentliche Abweichungen bedingen. Brahms hatte in dieser Beziehung einen richtigern Weg ein-

---

*) Practische Anleitung zum Deich-, Siel- und Schlengenbau. Bremen 1770. Theil I. Seite 269.

**) Reisen in die Marschländer der Nordsee. Leipzig 1788. Seite 279.

geschlagen, indem er die jedesmaligen localen Verhältnisse berücksichtigen wollte. Der damalige Zustand der Wissenschaft gestattete jedoch nicht, diesen Weg strenge zu verfolgen, und auch heutiges Tages bietet derselbe grofse Schwierigkeiten, weil es nicht leicht ist, alle erforderlichen Data zu sammeln, die zum Theil sich vorher nicht bestimmen lassen und von manchen Zufälligkeiten abhängig sind. Nichts desto weniger dürften die so gefundenen Resultate doch zuverläfsiger sein, als die aus ganz verschiedenartigen Erfahrungen hergeleiteten Regeln.

Storm-Buysing*) ist Hunrichs gefolgt und hat für die Niederländischen Marschen, die meist sehr tief liegen, und sonach nur während kurzer Zeit abwässern, gefunden, dafs die gröfsern Siele auf je 1000 Bunders der eingedeichten Fläche 2 bis 4 Ellen oder Meter weit sind. Nach unsern Maafsen kommt also auf je 100 Morgen eine lichte Weite von $1^1/_2$ bis 3 Fufs. Der Sielboden soll dabei in der Höhe des gewöhnlichen niedrigen Wassers liegen. Bei kleinern Poldern giebt man dagegen den Sielen beträchtlichere Weiten und dieses zum Theil schon deshalb, weil die übliche Construction sich auf sehr kleine Dimensionen nicht anwenden läfst.

Ist das Siel zugleich für den Durchgang von Schiffen bestimmt, so ist ihre Weite von der Breite der letztern abhängig, doch darf diese Weite das Maafs von 18 Fufs nicht übersteigen, weil sonst die Ueberdeckung nicht mehr die nöthige Sicherheit bieten würde. Auch bei massiven Sielen müfste das Gewölbe wegen der alsdann erforderlichen Pfeilhöhe desselben sich schon so hoch erheben, dafs der Deich darüber gar zu niedrig, also zu schwach ausfallen würde. Sobald die Schiffahrt eine gröfsere Weite bedingt, so mufs man ein unbedecktes Siel erbauen, also eine Schiffs-Schleuse, die zugleich als Entwässerungs-Schleuse benutzt wird. Häufig trennt man aber auch in solchem Fall die Anlage, und richtet neben der Schiffs-Schleuse ein Siel ein.

Bei Bestimmung der lichten Weite und Höhe eines Siels mufs man noch darauf Rücksicht nehmen, dafs beide Dimensionen in einem angemefsnen Verhältnifs zu einander stehn. Namentlich darf die Höhe nicht geringer, als zwei Drittheile der Weite sein,

*) Bouwkundige Leercursus. 1857. II. Pag. 340.

weil sonst die Construction der Thore Schwierigkeiten bietet, und besonders das Durchsacken derselben kaum zu verhindern sein möchte.

Wenn die abzuführende Wassermenge eine gröfsere Weite, als von 18 Fufs fordert, so stellt man das nöthige Ausflufs-Profil dadurch dar, dafs man zwei Siele neben einander erbaut. In dieser Weise wurden bei der Eindeichung des Wapeler Grodens in den Jahren 1822 und 1823 auf der südlichen Seite des Jade-Busens zwei Siele ausgeführt, von denen das eine, das zugleich zum Durchgange von Schiffen bestimmt war, 17 Fufs, das andre aber nur 12 Fufs weit war. Beide erhielten ein gemeinschaftliches Sieltief, und die Zuleitungs-Canäle, von denen der erste die Jade, und der zweite die Wapel aufnahm, wurden zwar besonders dargestellt, jedoch neben den Sielen mit einander verbunden, so dafs die Auswässerung eben sowol durch das eine, wie durch das andre erfolgen konnte. Man erreichte hierdurch noch den Vortheil, dafs man, ohne die Entwässerung ganz zu unterbrechen, die nöthigen Reparaturen an einem Siel vornehmen und dasselbe zeitweise schliefsen konnte.

Eine wichtige Frage in Betreff der Anordnung der Siele bezieht sich darauf, ob man dieselben nur mit einem, oder mit zwei Paaren Stemmthore versehn soll, die beide gegen die Fluth aufschlagen, also sich gegenseitig unterstützen. In den ältern Oldenburgischen Sielen, die sich durch sehr zweckmäfsige Construction auszeichnen und grofsentheils von Hunrichs herrühren, findet man jedesmal den doppelten Thorverschlufs, auch kommt derselbe in den Niederländischen Sielen häufig vor. Der Nutzen dieser Anordnung besteht darin, dafs man bei ungewöhnlich hohen Fluthen, und besonders wenn die Thore schon etwas schadhaft sind, den starken Wasserdruck vertheilen, und sonach die Gefahr für jedes Thor wesentlich vermindern kann. Aufserdem wird hierdurch auch Gelegenheit geboten, die schadhaften Thore herauszunehmen und in Stand zu setzen, ohne dafs die Auswässerung des Siels unterbrochen werden darf, weil während dieser Zeit noch das andre Thorpaar in Wirksamkeit bleibt.

Man darf indessen diese Vortheile des doppelten Thor-Verschlusses nicht zu hoch anschlagen, denn zunächst ist das Aus-

und Einhängen der innern Thore, die im Siel selbst liegen, viel mühsamer, und bei dem Mangel an Licht kann sogar die Untersuchung derselben nicht so sicher vorgenommen werden, als die der äufsern Thore. Sodann täuscht man sich aber auch, wenn man glaubt, dafs bei dieser Einrichtung das zweite Thorpaar in Wirksamkeit treten soll, sobald das erste unter hohem Wasserdruck gebrochen ist. Wenn nämlich alle vier Flügel so gestellt sind, dafs sie durch den eingehenden Strom gefafst und geschlossen werden können, so geschieht dieses dennoch nicht, weil das eine immer etwas beweglicher, als das andre ist. Schon bei einem Thorpaar schliefsen sich die beiden Flügel nie gleichzeitig, vielmehr bleibt einer jedesmal etwas länger geöffnet, als der andre, und bedarf zu seiner Bewegung schon eines stärkern Stroms, der sich erst später einstellt. Bei zwei Thorpaaren geschieht dasselbe. Dasjenige Paar, dessen beide Flügel am beweglichsten sind, schliefst sich zuerst. Hierdurch wird aber der eingehende Strom vollständig unterbrochen, und sonach können die Flügel des andern Paars sich nicht mehr schliefsen. Sollte alsdann, nachdem die Fluth schon hoch angewachsen ist, ein Flügel des in Wirksamkeit getretenen Thors brechen, so würde zwar der starke hereinstürzende Strom augenblicklich die Flügel des zweiten Thors fassen und schliefsen, aber die Heftigkeit des Stofses könnte sie auch gleichzeitig zertrümmern. Hierzu kommt noch, dafs die Hoffnung, das zweite Thorpaar könne die Fluth abhalten, wenn auch das andre gebrochen ist, leicht Veranlassung giebt, dafs man auffallende Beschädigungen in den Thoren unbeachtet läfst. Aus diesen Gründen dürfte ein einzelnes Thorpaar, das unbedingt den vollen Wasserdruck abhalten mufs, und welches deshalb auch immer im guten Stand erhalten wird, zweckmäfsiger sein, als der doppelte Verschlufs.

Es giebt noch einen andern Umstand, der gleichfalls gegen den doppelten Verschlufs der Siele spricht. Wenn man nämlich bei einer in Aussicht stehenden hohen Fluth den Druck auf beide Thorpaare vertheilen will, so stellt man die äufsern Thore so, dafs sie vom eingehenden Strome nicht gefafst werden. Es schliefsen sich alsdann die innern Thore, und wenn dieses geschehn ist, so lehnt man mittelst Hacken auch die äufsern an ihre Schlagschwellen an. Diese erleiden nun, wenigstens Anfangs,

keinen Druck, der sie fest geschlossen hält. Sie schliefsen und öffnen sich daher bei jeder anschlagenden Welle, je nachdem ein Wellenkamm oder ein Thal sich unmittelbar vor ihnen befindet. Dabei dringt fortwährend soviel Wasser ein, als dem inzwischen erfolgten Steigen der Fluth entspricht. Die Verhältnisse ändern sich daher nicht, und jede Welle wirft die Thore zu, während sie unmittelbar darauf sich wieder öffnen. Dieses Schlagen der Thore, das bei heftiger Wellenbewegung sehr stark und nachtheilig ist, setzt sich so lange fort, bis endlich das Siel hoch vom Wasser bedeckt ist, und die Wirkung der Wellen in der gröfsern Tiefe weniger stark wird.

Bei Sielen, die nicht überdeckt sind, ist dieser Uebelstand noch gröfser, weil das Zuschlagen bis zum höchsten Wasser nicht aufhört, und selbst während der ersten Ebbe noch fortdauert. Es leuchtet aber ein, dafs in diesem Fall die innern Thore dem vollen Druck ausgesetzt bleiben, und von den äufsern gar nicht unterstützt werden. Bei dem 1846 in der Herrschaft Varel erbauten offnen Siel zeigte sich dieses Schlagen der Thore in so grofsem Maafse, dafs für die äufsern Thore bei heftigen Winden augenscheinliche Gefahr eintrat, und man sich gezwungen sah, den Wasserstand zwischen beiden Thorpaaren dadurch zu senken, dafs man in den innern Thoren eine Menge Bohrlöcher anbrachte, durch welche das Seewasser in das Binnenland abflofs. Hierdurch erzeugte sich bald ein starker Druck gegen die äufsern Thore, der das Aufgehn derselben verhinderte. Bei Schiffsschleusen, die dem Wellenschlage ausgesetzt sind, stellt sich der Druck gegen die äufsern Thore sehr schnell ein, wenn man die Schütze der innern Thore öffnet, und dadurch den Wasserstand in der Kammer etwas senkt. Alsdann bleiben die äufsern Thore fest geschlossen, wenn auch die Schütze wieder herabgelassen werden.

Die erwähnten Umstände, verbunden mit den bedeutenden Mehrkosten, welche sowol die Anlage, als Unterhaltung des zweiten Thorpaars nebst den zugehörigen Schlagschwellen, Thorkammern u. dgl. verursacht, gaben Veranlassung, dafs man vor etwa 50 Jahren im Oldenburgischen von der frühern Methode abging, und die Siele nur mit einem Thorpaar, nämlich an der äufsern Seite versah. Man fand sich hierzu um so mehr veranlafst,

als bei dieser Anordnung eine Instandsetzung der Thore noch sehr sicher erfolgen konnte, wenn dieselbe bei günstiger Witterung und nicht gerade zur Zeit der Springfluthen vorgenommen wurde. Es ist nämlich bei der hohen Lage der dortigen Polder, und besonders wenn die Bewohner hiervon vorher benachrichtigt sind, ohne wesentlichen Nachtheil, wenn auch eine Fluth durch das geöffnete Siel in das Binnenland einfliefst. Dadurch wird nur der Wasserstand in den Gräben gehoben, ohne dafs die Wiesen inundirt werden. Der gröfste Uebelstand, der sich hierbei zeigt, beruht darin, dafs die Gräben sich mit Seewasser anfüllen, doch kann man dasselbe von den kleinen Wasserläufen absperren, welche die Weiden durchschneiden und begrenzen, und sonach findet das Vieh, der eintretenden Fluth ohnerachtet, in diesen noch süfses Wasser. Längere Zeiten hindurch dürfen die Siele indessen nicht geöffnet bleiben, und jedenfalls müssen beim zweiten niedrigen Wasser die Thore wieder eingehängt werden.

Die Ansicht, dafs das zweite Thorpaar entbehrlich sei, die vorzugsweise von dem damaligen Deichgräf Burmester ausging und vertheidigt wurde, hat indessen später Widerspruch gefunden, und gegenwärtig ist man auch davon zurückgekommen, indem man wieder die Siele mit doppeltem Thorverschlufs, wie zu Hunrichs Zeiten erbaut. Manche Erfahrungen sollen den Nutzen dieser ältern Einrichtungen herausgestellt haben, und bei geregelter Aufsicht und Behandlung der Siele, deren jedes unter einem besondern Wärter steht, lassen die oben erwähnten Uebelstände sich auch leicht umgehn. Das eine Thorpaar, und gemeinhin das innere, wird jedesmal festgestellt, so dafs es sich nicht von selbst schliefst, die Wirksamkeit des Siels beruht also in gewöhnlichen Fällen allein auf den äufsern Thoren. Bei hohen Fluthen dagegen schliefst der Wärter auch die innern Thore und versucht dadurch den Wasserdruck auf beide zu vertheilen.

Die einfachsten Siele sind die sogenannten Pumpsiele, die bei mäfsiger Weite und Höhe nur aus hölzernen Rinnen bestehn, die an der äufsern Seite durch eine Klappe geschlossen werden. Fig. 36 auf Taf. VI zeigt ein solches im Längendurchschnitt und in der Ansicht von vorn. Zuweilen sind sie noch einfacher construirt, und bestehn nur aus hölzernen Röhren, oder aus solchen Rinnen, die ohne Rahmen, aus vier Bohlen zusammengesetzt sind.

In diesem Fall heifsen sie Sichter. Die Anwendung gufseiserner Röhren würde für diesen Zweck auch vortheilhaft sein, weil sich dabei ein besonders dichter Schlufs leicht darstellen läfst, doch müfste eine Art der Zusammensetzung gewählt werden, wobei eine Durchbiegung möglich bliebe, ohne die Wasserdichtigkeit der Fugen aufzuheben.

Die Figur stellt ein Pumpsiel der gröfsten Art dar. Seine Construction bedarf keiner nähern Beschreibung. Es ruht nicht auf Pfählen, sondern nur auf zwei Schwellen, welche an der Senkung des Erdreichs Theil nehmen, und durchbiegen, falls der Untergrund unter der Last des Deichs ausweichen sollte. Der äufsere Theil oder das Vorsiel ist mit einem Bohlenboden versehn, der von einem leichten Pfahlwerk getragen wird, zuweilen bringt man auch unter der Schwelle, gegen welche die Klappe sich lehnt, eine Spundwand an, und diese Anordnung rechtfertigt sich in sofern, als diese Stelle wegen der geringen Höhe der Aufschüttung noch nicht stark belastet wird, sich also nur mäfsig setzt. Zwei hölzerne Flügelwände halten daneben die Erde zurück. Die Klappe, in sehr einfacher Weise aus Bohlen zusammengefügt, hängt an zwei eisernen Bändern, und öffnet sich, sobald der Druck des Binnenwassers stärker wird, als der des äufsern. Indem sie sich aber niemals hoch erhebt, so wird die Oeffnung immer nur in geringem Maafse frei und daher ist die Auswässerung nicht so kräftig, als die Weite der Rinne erwarten läfst.

Wenn die lichte Weite der Siele nur 8 Fufs oder noch weniger beträgt, so pflegt man nicht leicht Stemmthore anzubringen, sondern dafür einfache Thore zu wählen, die sich an den Rahmen, der das Siel begrenzt, flach anlegen. Ueber diese Einrichtung ist nichts hinzuzufügen, da die Construction von derjenigen der gröfsern Siele sich nicht wesentlich unterscheidet.

Die Stemmthore der gröfsten Siele werden oft wie Schleusenthore zusammengesetzt. Jedes derselben besteht alsdann aus der Wendesäule, der Schlagsäule, den beiden Rahmen, mehreren Riegeln, der Strebe und der Bohlenverkleidung nebst den zugehörigen eisernen Bügeln, Winkelbändern u. dgl. Die Wendesäule ist am untern Ende meist mit einer Pfanne versehn, die auf einem eisernen Zapfen ruht, oben dagegen läuft sie in einen cylindrischen Hals aus, der von einem Halsbande umfafst wird. Letz-

teres ist verschiedenartig eingerichtet, und die Eigenthümlichkeiten, die bei den Halsbändern der Schleusenthore vorkommen, wiederholen sich auch bei denen der Thore in den Sielen. Bei diesen mufs jedoch für eine leichte Lösung und Wiederbefestigung des Halsbandes gesorgt werden, da man oft gezwungen ist, in der kurzen Zwischenzeit, während die Strömung im Siel umsetzt, und sonach ganz aufhört, oder doch sehr gering bleibt, das schadhafte Thor herauszunehmen und dafür ein neues einzuhängen. Die Einrichtung, welche Fig. 37 zeigt, wiederholt sich vielfach. Dabei besteht das Halsband nur aus einem eisernen Bügel, der durch den obern Schlagbalken hindurchgezogen, und am hintern Ende durch Schraubenmuttern oder, was noch bequemer ist, durch durchgesteckte Splinte befestigt wird. Es ist dabei ohne Nachtheil, wenn durch diesen Bügel der Hals der Wendesäule auch nicht in unmittelbare Berührung mit dem obern Drempel gebracht wird, denn dieses geschieht schon sehr sicher, sobald der Wasserdruck sich einstellt. Der Bügel oder das Halsband mufs dagegen das Ausweichen des Thors in der Richtung der Drempel vollständig verhindern, weil sonst die beiden Thore, wenn sie geschlossen sind, sich nicht mehr berühren, und eine offne Fuge zwischen ihnen bleiben würde, durch welche das Hochwasser fortwährend einströmen könnte.

Die angedeutete Construction, welche mit der der gewöhnlichen Schleusenthore übereinstimmt, beruht indessen auf einem gegenseitigen Stemmen oder Streben der Thore, das hier nich stattfindet, weil die Thore sich nicht nur unten an die Schlagschwelle, sondern auch oben an den Schlagrahm anlehnen. Die Durchbiegung kann daher nicht so stark werden, dafs man, um dieselbe zu verhindern, die Wendesäulen gegen scharf anschliefsende Wendenischen stellen müfste, wobei die Riegel des Thors in Anspruch genommen würden. Wenn jedes Thor sowol oben, als unten, und zwar in der ganzen Breite unterstützt wird, so kommt es nur darauf an, die Durchbiegung in der Richtung seiner Höhe zu verhindern, und dieses geschieht am einfachsten und sichersten, wenn das Thor aus senkrechten Bohlen oder Halbhölzern zusammengesetzt wird. Eine solche Verbindung wird auch vorzugsweise von Hunrichs*) empfohlen, und derselbe hat sie aus-

*) Im bereits benannten Werke. I. Seite 321 ff.

schliefslich bei den Sielbauten in Oldenburg angewendet, wovon man jedoch später abgegangen war.

Fig. 38, *a* und *b* zeigt ein solches Thor in der äufsern und der obern Ansicht. Die Bohlen, aus welchen es besteht, müssen hinreichend stark sein, um dem Wasserdruck den nöthigen Widerstand leisten zu können, und hierbei kommt, wie bekannt, die Länge, auf welche sie frei liegen, wesentlich in Betracht. Für niedrige Siele genügt es, nur vierzöllige Bohlen zu verwenden, für höhere mufs die Stärke dagegen mindestens 6 Zoll betragen. Den beiden äufsern Hölzern, welche die Stelle der Wendesäulen und Schlagsäulen vertreten, giebt man aber eine gröfsere Stärke. Die Bohlen werden weder mit Spundung versehn, noch gefalzt, sondern nur stumpf zusammengesetzt. Dagegen bringt man in den Fugen hölzerne Dübel an, die in cylindrischen Zapfen bestehn, und in je zwei Bohlen eingreifen. Zuweilen werden statt derselben auch eiserne Dübel benutzt. Zur Dichtung der Fugen wendet man getheertes Fliefspapier an, und treibt die Hölzer fest zusammen, indem jene Dübel vorläufig schon einigen Zusammenhang darstellen. Zur sichern Verbindung der einzelnen Bohlen dienen vorzugsweise die Riegel mit der dazwischen eingesetzten Strebe. Jede Bohle ist mit jedem Riegel durch zwei Bolzen verbunden, und man pflegt letztere nicht mit Schraubenmuttern zu versehn, die wegen der feuchten Umgebungen doch bald durch den Rost so festgehalten werden, dafs sie nicht nachgezogen werden können, vielmehr werden keilförmige Splinte durch die Bolzen gesteckt, die sich gegen Scheiben lehnen und so oft es nöthig ist, nachgetrieben werden. Aufserdem sind daran noch zwei eiserne, in das Holz eingelassene Bügel angebracht, die das Thor in seiner ganzen Breite sowol oben, wie unten umfassen. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, dafs in Fig. *b* die in das Hirnholz eingelassene eiserne Feder sichtbar ist, welche mit ihrem aufwärts gebogenen Arm die Schiene bildet, wogegen das Halsband sich lehnt. Hierdurch wird der starken Abnutzung des Halses der Wendesäule vorgebeugt.

Indem die Sielthore sowol bei der einen, wie bei der andern Construction einen dichten Schlufs darstellen, ohne mit ihren Schlagsäulen sich gegen einander zu stemmen, so ist es auch zulässig, diese Stemmung ganz aufzugeben und beide Schlag-

schwellen, also auch beide Thore, wenn sie geschlossen sind, in dieselbe Vertical-Ebene zu legen. Dieses geschieht wirklich, wenn das Schlaggebinde, wie bei hölzernen Sielen oft der Fall ist, durch einen Mittelständer in zwei Theile zerlegt wird. An diese Mittelständer schliefst sich in solchem Fall eine Mittelwand an, die zur Unterstützung der Decke dient. Alsdann besteht das Siel eigentlich aus zwei besondern Sielen, die unmittelbar neben einander liegen, und von denen jedes durch ein einfaches Thor geschlossen wird.

Wenn dagegen der Mittelständer fehlt, also die geschlofsnen Thore sich unmittelbar berühren müssen, um den wasserdichten Schlufs darzustellen, so würden sie nur in dem Fall in einer Ebene stehn dürfen, wenn ihre Drehungs-Achsen in derjenigen Ebene angebracht werden könnten, welche die innere Fläche der Thore bildet. Wäre dieses nicht der Fall, befänden sich vielmehr, wie immer geschieht, die Drehungs-Achsen in den Mittellinien der Thore, so würde dasjenige Thor, welches am längsten geöffnet bleibt, sich nicht mehr an die Schlagschwellen anlehnen, vielmehr durch das bereits geschlofsne Thor hieran verhindert werden. Wenn man nämlich von der Drehungs-Achse die Mittellinie an die gegenüberliegende schmale Seite des andern Thors zieht, so ist diese zugleich der Abstand von dem bereits geschlofsnen Thor. Die Entfernung der Achse von der innern Kante der Schlagsäule ist aber als Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks etwas länger, und sonach findet diese Kante bei der Drehung des Thors nicht mehr den nöthigen freien Raum, und kann sich daher nur noch an die vordere Kante des bereits geschlofsnen Thors, aber nicht mehr an die Schlagschwelle und den Schlagrahm anlehnen. Vor den Schwellen bleibt also eine weite Fuge offen, durch welche das Wasser bei steigender Fluth in das Siel eindringt. Auch in dem Fall, dafs beide Thore gleiche Beweglichkeit haben, und gleichzeitig sich schliefsen, stofsen schon vor der Berührung der Schwellen die beiden innern Kanten der Schlagsäulen zusammen und stemmen sich gegen einander, wodurch derselbe Uebelstand veranlafst wird, der wegen der Heftigkeit der auf- und abwärts gerichteten Wasserstrahlen für die Siele sehr gefährlich sein würde. Die Bedingung, dafs die Drehungs-Achsen in die Ebenen der innern Thorflächen, oder

vielleicht noch über diese hinaus versetzt werden, ist schwer zu erfüllen, weil alsdann gekröpfte eiserne Achsen angewendet werden müfsten und die ganze Construction ihre Einfachheit verlieren würde.

Man vermeidet dieses, indem man die beiden Schlagschwellen in sehr stumpfen Winkeln zusammenstofsen läfst, und zwar ist derselbe viel stumpfer, als bei den Drempeln der gewöhnlichen Schiffsschleusen. Das erwähnte gegenseitige Klemmen der Thore wird bei den üblichen Dimensionen derselben schon vermieden, wenn in dem gleichschenkligen Dreieck, welches die Schwellen bilden, die Höhe dem sechszehnten Theil der Basis gleich ist. Man pflegt indessen, um ganz sicher zu sein, ein etwas gröfseres Verhältnifs anzunehmen, und gewöhnlich mifst die Höhe den zwölften bis achten Theil der Basis.

In den Niederländischen Sielen, besonders in denjenigen, die weitere Oeffnungen haben, pflegen die Thore wie Schleusenthore zusammengesetzt zu sein. Hierbei verdient eine eigenthümliche Einrichtung des obern Schlaggebindes noch erwähnt zu werden, die Fig. 40 darstellt. Bei Schärdamm in der Nähe von Hoorn in Nordholland befindet sich ein Siel, das zugleich als Schiffsschleuse dient, und dessen Thore über den höchsten Wasserstand hinüberreichen. Die Schiffe können indessen nicht mit stehenden Masten hindurchgehn, sondern diese müssen wegen der festen Brücke, die auf dem Deich erbaut ist, niedergelegt werden. Von diesem Umstande hat man Gebrauch gemacht, um die Schlagsäulen der äufsern Thore, wenn letztere geschlossen sind, noch im obern Theil zu unterstützen. Vor der Brücke und in Verbindung mit derselben befindet sich nämlich die in der Figur gezeichnete Verstrebung, die der gewöhnlichen Zusammensetzung der Schlagschwellen nicht unähnlich ist, sich aber dadurch von dieser unterscheidet, dafs die Streben nicht zugleich die Schwellen sind, an welche sich die Thore anlehnen, vielmehr geschieht dieses nur gegen den Kopf des Binders. Die Weite dieses Siels mifst etwa 22 Fufs.

In Betreff der Befestigung der Thore ist noch der Aufhalter zu erwähnen, gegen welchen das geöffnete Thor sich lehnt, wenn es sich von selbst schliefsen soll, sobald die Strömung in das Siel tritt. Fig. 37 und 39 zeigen diese Vorrichtung. An einer senkrechten eisernen Achse befindet sich ein

horizontaler Arm, der mit einem Knopf versehn, und durch eine Strebe unterstützt ist. Gegen den Knopf lehnt sich das Thor, und damit der Aufhalter diese Stellung nicht ändert, so wird er seitwärts durch einen Haken gehalten. Wenn dagegen das Thor nach sehr starkem Regen oder im Frühjahr ganz zurückschlagen soll, um das Durchflussprofil nicht zu beschränken, so wird der erwähnte Haken gelöst und der Aufhalter flach an die Wand gedreht, worauf auch das Thor sich vollständig öffnet, jedoch bei der nächsten Fluth durch den Wärter geschlossen werden muſs, weil dieses nicht mehr durch die Strömung geschehn kann. Dieses Zurückdrehn der Aufhalter nennt man das Aufsperren der Thore.

Was die Anordnung und Construction der Siele betrifft, so verdienen ohne Zweifel die im Oldenburgischen gesammelten Erfahrungen und gewählten Einrichtungen vorzugsweise Berücksichtigung, wo wegen der Höhe der Fluthen eine groſse Vorsicht nothwendig ist, und man seit hundert Jahren diesem Gegenstande eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat. Der Sielbau ist bis zum heutigen Tage noch nicht gründlicher behandelt worden, als dieses bereits im vorigen Jahrhundert durch den Deichgräf Hunrichs in Oldenburg geschehn ist. Das bereits angeführte Werk desselben ist um so wichtiger, als der Verfasser den Gegenstand aus Erfahrung sehr genau kannte, und eine Menge Siele, die er erbaut hat, bestehn noch gegenwärtig und sind fortdauernd in Wirksamkeit. Hiernach wird es sich rechtfertigen, wenn bei Beschreibung dieser Bauwerke zunächst diejenigen Anordnungen bezeichnet und erörtert werden, welche Hunrichs empfohlen hat. Die Mittheilung andrer Ansichten und Einrichtungen soll demnächst folgen.

Unter Siel versteht man zuweilen nicht den ganzen Bau, sondern nur denjenigen Theil, der mit einer Decke versehn und mit Erde überschüttet ist. Zu demselben gehören jedenfalls die Thore mit den Schlaggebinden. Die offenen Theile der Rinne, oder die Flügelwände oder Flügelmauern nebst den dazwischen befindlichen Böden heiſsen Vorsiele. Das äuſsere Vorsiel ist auswärts, und das innere landwärts gekehrt. Das eigentliche Siel zerfällt wieder in zwei oder drei Theile. Das Hauptsiel, das man gern unter die Krone des Deiches legt, oder doch

wenigstens so, dafs es seiner ganzen Länge nach von einer hohen Erdschüttung überdeckt wird, umfafst den zwischen beiden Thorpaaren befindlichen Raum. Das äufsere Siel ist der Theil des Sieles, der seewärts vor den äufsern Thoren liegt, und das innere Siel landwärts vor den innern Thoren. Das in Fig. 39 dargestellte Siel, das im Holsteinschen unter Woltman's Leitung ausgeführt wurde, hat sonach weder äufseres Siel, noch Hauptsiel, sondern besteht eigentlich nur aus dem innern Siel. Das äufsere Siel fehlt jedesmal, so oft das vordere Thorpaar an der äufsern Seite des Siels angebracht ist, und die Thorflügel in das äufsere Vorsiel treten. Diese Einrichtung gewährt zwar den grofsen Vorzug, dafs man das Spiel der Thore immer bequem beobachten und dieselben, so oft es nöthig ist, leichter ausbessern kann, sie darf indessen nicht gewählt werden, wenn die Decke des Siels nicht vollständig gesichert erscheint, und ein Durchbruch des Wassers durch dieselbe zu besorgen ist. Hiernach pflegt bei denjenigen Sielen, die nur mit Bohlendecken versehn sind, das vordere Thorpaar weiter zurückgesetzt oder ein äufseres Siel angebracht zu werden.

Die hölzernen Siele zerfallen in zwei Classen, nämlich in Ständer- und Balken-Siele. Fig. 41, *a*, *b* und *c* zeigt ein Ständer-Siel im Grundrifs, so wie auch im Längen- und im Querdurchschnitt. Die Thore liegen bei demselben nach Hunrichs Vorschrift im Innern, weil die Decke nur durch einen Bohlenbelag gebildet wird. Diese Siele werden gemeinhin nicht auf einen Pfahlrost gestellt, doch pflegt man unter den Schlagschwellen schwache Spundwände anzubringen, die indessen nicht so fest gerammt sind, dafs sie das Sacken des ganzen Siels verhindern könnten. An den äufsern Enden der Vorsiele und namentlich des äufsern Vorsiels befinden sich ausserdem noch zwei Quer-Spundwände oder wenigstens eine.

Der Boden, so wie die Decke und die Seitenwände dieses Siels bestehn aus Bohlen, und da rings umher bei hohem Wasserstande der Druck von aufsen nach innen gerichtet ist, so müssen in geringen Entfernungen Rahmen von Balkenholz eingestellt werden, wogegen die Bohlen sich lehnen. Die Abstände dieser Rahmen, die man Gebinde oder Joche nennt, betragen bei weitern Sielen nur 2 Fufs von Mitte zu Mitte, und indem sie

oben, unten und seitwärts vortreten, so darf man die lichte Weite und Höhe des Siels nicht nach den Bohlenwänden, sondern man mufs sie nach den innern Flächen dieser Gebinde bestimmen. Um die Bohlen, welche den Boden bilden sollen, gehörig verlegen, befestigen und dichten zu können, müssen Querbalken darunter gestreckt werden, und damit diese wieder ein sichres Lager erhalten, so legt man über den gehörig geebneten und festgerammten Boden der Baugrube zunächst zwei Schwellen, die gewöhnlich noch auf kurzen Unterlagen ruhn. Die weitere Construction ergiebt sich mit hinreichender Vollständigkeit aus den Figuren, und es ist dabei nur auf einzelne Umstände aufmerksam zu machen.

Der Bohlenboden und selbst die Querbalken dürfen nicht hohl liegen, vielmehr mufs der Raum darunter mit zäher Klaierde vollständig gefüllt und letztre angestampft werden, so dafs jedes Verbandstück und jede Bohle überall fest aufliegt. Die Bohlen werden weder mit Spundungen, noch mit Falzen versehn, sondern nur stumpf, aber recht fest zusammen getrieben, und wenn sie nicht ganz frisch verwendet werden, so quellen sie in dem nassen und feuchten Siel so stark, dafs die Fugen sich vollständig schliefsen, und ein besondres Dichten derselben durch Eintreiben von Werg entbehrlich ist. Letzteres geschieht allerdings zuweilen in den Niederländischen Sielen, und dabei bezweckt man weniger, ein mäfsiges Durchquellen zu verhindern, als man vielmehr die Ausbildung von Wasseradern in der Erdschüttung verhindern will, die nach und nach in bedenklicher Weise sich erweitern und sogar den Bruch des Deichs veranlassen können, wenn man nicht bei Zeiten den Schaden wieder beseitigt. Die Erkennung solcher Quellen ist bei dem Mangel an Licht im Innern des Siels nicht leicht, und man ist immer geneigt, das Eindringen des Seewassers der Undichtigkeit der Thore zuzuschreiben, die allerdings am häufigsten hierzu Veranlassung giebt. Man darf indessen nicht unterlassen, sobald das Siel zur Zeit des Hochwassers sich undicht zeigt, dasselbe beim Schein von hellbrennenden Lichtern oder Fackeln genau zu untersuchen, und wenn man im Innern, sei es am Boden, oder der Decke, oder den Seitenwänden Stellen findet, durch welche Wasser hineinfliefst, die also auf freie Wasseradern im Deich

schliefsen lassen, diese durch eingetriebenes Werg schleunigst wieder zu dichten.

Die erwähnten Gebinde werden, wie Fig. 41 *b* und *c* zeigen, noch durch Bänder verstärkt, welche vorzugsweise das Verziehn und das Ueberweichen der Siele nach einer Seite verhindern sollen. Aufserdem dienen sie aber auch zur Unterstützung der Deckbalken. In der Nähe der Thore mufs man sie fortlassen, weil sie das Aufgehn derselben verhindern und zugleich das Durchflufsprofil, das hier schon stark beschränkt ist, noch mehr beengen würden. Aufserdem ist zu bemerken, dafs man die obern und untern Rahme der Gebinde an den Seiten etwas einschneidet, damit die Stiele oder Ständer sich an Brüstungen lehnen, und nicht allein durch die Zapfen gegen das Verschieben gesichert werden.

An denjenigen Stellen, wo die Thore sich befinden, sind statt der gewöhnlichen Gebinde stärkere angebracht, die man Schlaggebinde nennt. In ihrer Zusammensetzung sind sie den so eben beschriebenen gleich, nur greifen die Verbandstücke mit doppelten Zapfen in einander, und die Bänder fehlen auch hier, weil dadurch das Profil noch mehr verengt werden würde. Der Bohlenbelag setzt sich rings um diese Gebinde in gleicher Art fort, wie um die andern. Die gröfsere Holzstärke tritt sonach an der innern Seite vor und bildet den nöthigen Raum zum Anschlagen der Thore. In die beiden Seitenstiele werden die Wendenischen eingeschnitten, und in dem obern und untern Rahm befinden sich die unter einem sehr stumpfen Winkel zusammenstofsenden Flächen, gegen welche die Thore sich lehnen. Man mufs zu den letzten Verbandstücken so hochkantiges Holz nehmen, dafs nicht nur der Anschlag für die Thore, sondern auch der nöthige Spielraum zwischen diesen und den obern und untern Rahmen der nächsten Gebinde sich darstellt. Zur Unterstützung des Schlaggebindes dienen endlich, wie die Figuren zeigen, noch zwei starke Streben, die an die nächsten Stiele gebolzt und auf die vierte Schwelle aufgeklaut sind.

Man könnte, ohne die Wirksamkeit des Siels wesentlich zu schwächen, dem Binnensiel geringere Breite und Höhe geben, und die Gebinde so abmessen, dafs deren lichte Weite und Höhe

ganz oder nahe mit der des Schlaggebindes übereinstimmt. Diese Anordnung würde sich allerdings insofern rechtfertigen, als die Thorkammer schon in gleicher Art das Siel verengt. Nichts desto weniger würde hierdurch doch immer der Zuflufs etwas erschwert werden, auch die ganze Construction ihre Einfachheit verlieren. Dazu käme noch ein andrer Uebelstand. Die Halsbänder bestehn nämlich in Bügeln, welche durch den Rahm des Schlaggebindes gesteckt und an dessen hintrer Seite durch eingezogne Splinte gehalten werden. Bei der angedeuteten Verengung und Erniedrigung des Binnensiels würde man zu diesen Splinten nicht gelangen, und daher die Thore nicht leicht ausheben und wieder einhängen können, so oft deren Instandsetzung erforderlich ist.

Dafs das Siel zu beiden Seiten und eben so auch oben mit fettem Thon umgeben und derselbe fest angestampft werden mufs, um jedes Durchdringen von Wasseradern möglichst zu verhindern, bedarf kaum der Erwähnung. Auffallend ist es indessen hierbei, dafs Hunrichs empfiehlt, man solle die Erde nicht unmittelbar gegen das Holz schütten, sondern eine dünne Lage Haidekraut oder Torf dazwischen einbringen, weil alsdann das Holz nicht so leicht fault. Obwol die benannten vegetabilischen Stoffe nicht leicht in Fäulnifs übergehn, und daher die Bildung des Schwammes wenigstens nicht befördern, so ist doch von dem reinen Thon derselbe Erfolg, und zwar noch vollständiger und sicherer zu erwarten. Man darf indessen nicht unbeachtet lassen, dafs die Klaierde, aus der die Watte und Groden an der Oldenburgischen Meeresküste sich bilden, keineswegs reiner Thon ist, sondern auch vegetabilische und animalische Bestandtheile enthält, die allerdings in nachtheiliger Weise wirken können. Am meisten ist das Faulen des Holzes immer an denjenigen Stellen zu besorgen, wo zwei Verbandstücke sich berühren, und die Fugen mit stehendem Wasser angefüllt bleiben. Durch sorgfältigen Theeranstrich sucht man diesem Uebelstand zu begegnen, und der Theer dient alsdann zugleich zur Darstellung der erforderlichen Wasser-Dichtigkeit der Bekleidung. Zu dem letzten Zweck wird zuweilen auch eine feine elastische Zwischenlage namentlich von gehacktem Moos, das man auf den Theer streut, eingebracht. Vorzugsweise hängt der dichte Schlufs der Fugen vom scharfen

Zusammentreiben der Bohlen ab, wofür also besonders gesorgt werden mufs.

Damit die angestampfte Erde nicht etwa Höhlungen bilde, indem sie am Herabsinken gehindert wird, so dürfen die Rahmstücke der Gebinde auswärts nicht vor die Bohlenwand vortreten, und die Schwellen reichen, wie Fig. 41 *c* zeigt, auch nur so weit über die letztere hinaus, als die sichere Aufstellung der Siele dieses fordert.

Ueber die Vorsiele ist zu erwähnen, dafs man bei denselben den Pfahlrost nicht füglich entbehren kann, weil sonst der Boden nicht die nöthige Haltbarkeit haben würde, doch pflegt man nicht unter alle Kreuzungen der Lang- und Querschwellen Pfähle zu stellen, vielmehr geschieht dieses nur etwa unter der Hälfte derselben. Die Seitenwände der Vorsiele bestehn aus gewöhnlichen Bohlwerken, die entweder durch Erdanker gehalten, oder durch Spannbalken gegen einander gestützt werden. Letzteres ist dauerhafter und einfacher; dabei tritt aber der Uebelstand ein, dafs die Schiffe, die bei Hochwasser ankommen, nicht sogleich in das Vorsiel einlaufen und darin den Eintritt des niedrigen Wasserstandes abwarten können, vielmehr schon vorher die Masten niederlegen und so lange aufserhalb bleiben müssen, bis sie unter den Spannbalken den nöthigen freien Raum zum Durchgang finden. Diese Spannbalken sind aufserdem noch der Gefahr ausgesetzt, dafs sie bei stark bewegtem Wasser von den Wellen aufwärts gestofsen und ausgehoben werden. Um dieses zu verhindern, werden sie oft mit leichten Rosten überdeckt, welche durch grofse Feldsteine beschwert werden. In diesem Fall tragen sie zur Mäfsigung des Wellenschlages bei, und das Vorsiel und die Thore sind solchem weniger ausgesetzt.

Dafs auf der Landseite, also im innern Vorsiel, noch ein Schütz angebracht wird, um das zu tiefe Ablaufen des Binnenwassers zu verhindern, ist bereits erwähnt worden. Dieses Schütz ist auch bei Reparaturen des Siels von grofser Wichtigkeit, weil letzteres bei niedrigen Ebben leicht trocken gelegt werden kann, sobald man den Zuflufs von der Binnenseite absperrt.

Die Einrichtung der Balkensiele ergiebt sich aus Fig. 42. *a* zeigt den Grundrifs, *b* den Durchschnitt durch die Mittellinie

und den Querschnitt. Pfahlroste kommen auch bei diesen Sielen gewöhnlich nicht vor, während nur die Schlagschwellen mit schwachen Spundwänden versehn sind. Sowol die Seiten, als der Boden und die Decke des Siels bestehn aus Balkenlagen, welche im Innern ebene Flächen bilden, an denen das Wasser nach der Ansicht von Hunrichs weit weniger Widerstand erfährt, als in den Ständersielen. Hunrichs meint daher, dafs bei gleichem Querschnitt und unter übrigens gleichen Umständen ein Balkensiel wirksamer sei. Die Balken liegen überall nur stumpf an einander, doch sind sie in den Berührungsflächen behobelt und werden scharf zusammengetrieben, um einen dichten Schlufs darzustellen. Aufserdem pflegt man namentlich in den Seitenwänden zwischen den einzelnen Gängen noch eine Verbindung durch eiserne Dübel oder kurze Bolzen darzustellen, welche in je zwei einander berührende Balken einige Zoll tief eingreifen. Die Balken, welche den Boden und die Decke des Siels bilden, sind nur so lang, als letzteres breit ist, Stöfse kommen daher in ihnen nicht vor. Dagegen sind solche in den Seitenwänden nicht zu vermeiden, und es darf kaum erwähnt werden, dafs sie gehörig abwechseln und die Enden der Balken durch Bolzen befestigt werden müssen.

Was die Ausführung betrifft, so werden auf zwei Schwellen die Bodenbalken verlegt, nachdem der Raum darunter vollständig ausgefüllt und geebnet ist. Die Schwelle des Schlaggebindes steht soweit über den andern Schwellen vor, dafs der nöthige Raum zum Anschlagen der Thore und der freie Spielraum unter den letztern sich bildet. In gleicher Art springt das Schlaggebinde auch vor die Seitenwände und die Decke vor. Die Seitenwände werden einige Zoll tief in die Bodenbalken eingelassen, damit sie nicht durch den Druck der Erde und des Wassers hineingeschoben werden, und in gleicher Weise greifen sie auch in die Deckbalken ein. Aufserdem wird für ihre Befestigung noch in andrer Art gesorgt. Sie greifen nämlich mit ihrer halben Stärke, wie Fig. 42 *a* zeigt, in die Schlaggebinde ein. Dabei ist zu bemerken, dafs in den Balkensielen die äufsern Thore unmittelbar am Vorsiel zu stehn pflegen, und dafs ein andres starkes Gebinde für das Schütz oder auch wohl zum Einsetzen von Dammbalken sich neben dem innern Vorsiel befindet.

Sonach greifen die in Rede stehenden Balkenwände jedesmal mit ihren Enden etwa 4 Zoll tief in die starken Stiele der Schlaggebinde, und überdies sind auswärts noch besondere Stiele angebracht, die sich gegen die obere und untere Balkenlage lehnen, und von diesen gehalten werden. An diese Stiele ist ein Balken um den andern mittelst Durchsteckbolzen befestigt. Die Köpfe der Bolzen befinden sich an der äufsern Seite, während sie im Innern durch Splinte angezogen werden, die sich an eiserne Scheiben lehnen. Die Schlaggebinde werden auch hier eben so wie bei Ständer-Sielen durch Streben unterstützt, und bei weiten Sielen geschieht es auch häufig, dafs man Mittelwände anbringt, um das Durchbiegen der obern Balkenlagen zu verhindern. Diese Vorsicht ist um so wichtiger, als die Kopfbänder sich hier nicht anbringen lassen. Noch mufs erwähnt werden, dafs die Balken nicht aus starkem Bauholz bestehn, sondern selbst bei weiten Dimensionen der Siele nur 8 bis 9 Zoll Stärke zu haben pflegen. Auch kommt es nicht darauf an, ob sie waldkantig sind, wenn sie sich nur in hinreichend breiten Flächen berühren, um einen dichten Schlufs darzustellen. Zu dem letzten Zweck werden sie nicht nur, wie bereits erwähnt, häufig behobelt, sondern statt dessen schneidet man auch zuweilen jede Fuge mit einer feinen Säge auf, wodurch bei dem alsdann erfolgenden Zusammentreiben die Berührung besonders scharf wird. Vor dem Verlegen werden die Balken mit Theer überzogen, und während derselbe noch nafs ist, streut man auf die Flächen, welche die Stofsfugen bilden, fein gehacktes trocknes Moos auf, von dem nur eine dünne und ziemlich gleichmäfsig vertheilte Lage am Theer hängen bleibt. Ein scharfes Zusammentreiben der Balken beim Anbolzen derselben ist endlich Haupt-Erfordernifs.

Hunrichs äufsert sich über die Vorzüge der Ständer- und Balken-Siele in der Art, dafs die erstern, so lange sie sich noch in gutem Stande befinden, eine gröfsere Steifigkeit, als die letztern besitzen, und deshalb nicht nur in geringerm Maafs unter der Last des Deichs der Länge nach durchbiegen, sondern auch vor einer Form-Veränderung des Querschnitts mehr gesichert sind. Diese Vorzüge sind besonders von Bedeutung, wenn das Siel grofse Dimensionen hat, also zugleich zum Durchgang von Schiffen dient. Hiernach wird die Anwendung der Ständer-

siele in solchem Fall empfohlen, sowie auch bei wenig haltbarem Untergrund, wenn man das Siel nicht auf einen Pfahlrost stellen will. Letzterer mufs unter übrigens gleichen Umständen und bei gewisser Beschaffenheit des Bodens unter dem Balkensiel schon angewendet werden, während er unter dem Ständersiel noch fehlen darf.

In allen sonstigen Beziehungen hat das Balkensiel den Vorzug vor dem Ständersiel. Schon die Anlagekosten stellen sich für jenes merklich niedriger. Die Masse des Holzes, das in beiden verwendet wird, ist ziemlich dieselbe, wenn beide gleiche lichte Weite haben. Bei dem Balkensiel tritt aber der Vortheil ein, dafs die Zusammensetzung viel einfacher ist, also die Arbeit weniger kostet, und sodann kann man bei diesem ohne Nachtheil auch schwächeres und waldkantiges Holz verwenden, während beim Ständersiel sowol die Verbandstücke, als die Bohlen, aus tadellosen und starken Stämmen geschnitten werden müssen, wobei man sich gewöhnlich sogar auf Eichenholz beschränkt. Hierzu kommt noch, dafs die Unebenheiten der innern Wandflächen eines Ständersiels so starke Reibung veranlassen, dafs, nach Hunrichs, in den nächsten Schichten von 1 bis $1^1/_2$ Fufs Breite gar keine Strömung eintritt. Derselbe fügt hinzu, dafs ein Ständersiel von 14 bis 15 Fufs lichter Weite nicht mehr leistet, als ein Balkensiel von 12 Fufs Weite. Die Richtigkeit dieser Behauptung wird indessen nicht näher nachgewiesen, und dürfte wohl zweifelhaft sein, wenn die lichte Weite der Ständersiele zwischen den Ständern gemessen wird.

In der Unterhaltung hat das Balkensiel unverkennbare Vorzüge vor dem Ständersiel. Je schwächer das Holz an sich ist, um so eher mufs es bei eintretender Fäulnifs erneut werden. Die Bohlen sind daher weniger dauerhaft, als die Balken. Vorzugsweise treten die Beschädigungen aber in denjenigen Theilen der Wände ein, die am häufigsten benetzt und wieder trocken werden. Das Einziehn neuer Bohlen im Ständersiel ist aufserordentlich schwierig, und man mufs sich bei Beschädigungen, die keine weite Ausdehnung haben, damit begnügen, dafs man die schadhafte Stelle von innen verkleidet und ein neues Gebinde davor stellt. Man kann auch ein einzelnes Gebinde ausnehmen, und dadurch den Schaden etwas vollständiger beseitigen, worauf ein

oder zwei neue Gebinde eingesetzt werden. Eine gründliche Wiederherstellung ist jedoch immer nur möglich, wenn der Deich abgegraben wird, so dafs man von aufsen zur schadhaften Stelle gelangt. Bei Balkensielen verhält sich dieses anders. Sollte nämlich ein Balken verfault sein, so kann man ihn durch Abspalten vollständig beseitigen, und einen neuen, dessen Querschnitt etwas keilförmig gestaltet ist, wieder eintreiben, auch mittelst Bolzen an die dahinter angebrachten Ständer befestigen, Beschädigungen der Decke sind gleichfalls in Balkensielen leichter auszubessern.

Später versuchte man im Oldenburgischen, die Construction der Ständer- und Balken-Siele so mit einander zu verbinden, dafs die Vorzüge beider vereinigt, und Bauwerke dargestellt wurden, die bei grofser Solidität dennoch in denjenigen Theilen, die am meisten zu leiden pflegen, leicht erneut werden konnten. Namentlich geschah dieses, als Burmester Deichgräf war. Fig. 43 *a, b* und *c* zeigt eine solche Anordnung im Grundriss, so wie im Längen- und Quer-Durchschnitt. In dieser Weise wurden die beiden Siele in den Mündungen der Wapel und Jade erbaut, von denen bereits die Rede war. Die hier gewählte Anordnung weicht auch noch in andrer Beziehung von den bisher beschriebenen ab. Zunächst ruht nämlich das ganze Siel auf einem Pfahlrost, indem der Länge nach drei Pfahlreihen sich unter demselben hinziehn. Veranlassung dazu gab theils der Umstand, dafs die Siele in die alte Balje oder Rille gestellt werden mufsten, wo der Boden sehr lose und schlammig war, theils aber hatte man auch die Erfahrung gemacht, dafs manche ältere Siele, deren Verbandstücke sich noch in gutem Zustande befanden, wegen des Sinkens des Untergrundes stark durchgebogen und dadurch so schadhaft geworden waren, dafs sie umgebaut werden mufsten. Man war damals zu der Ueberzeugung gekommen, dafs man auf dem gewöhnlichen Marschboden, der neu eingedeicht, also noch nicht vollständig comprimirt ist, überhaupt kein gröfseres Siel ohne Pfahlrost bauen dürfe. Hiernach war keine Veranlassung, die Baustelle etwas seitwärts in festern und höhern Boden zu verlegen, was leicht möglich gewesen wäre. Aufserdem wich man auch in Beziehung auf die Thore noch wesentlich von der ältern und bei gröfsern Sielen allgemein

üblichen Anordnung ab, und versah das Siel nur mit einem Thorpaar, das in das äufsere Vorsiel aufschlug. Die Gründe dafür sind bereits oben angegeben.

Der Boden dieses Siels unterscheidet sich von dem früher beschriebenen dadurch, dafs die Bohlen nur auf Querschwellen oder Zangen aufgenagelt sind. Sie können deshalb wohl nicht so sicher dem Wasserdruck widerstehn, der sie von unten trifft, aber dafür bietet die starke Spundwand unter dem Schlaggebinde auch mehr Schutz gegen das Entstehn von Wasseradern. Durch kräftiges Abrammen der zwischen die Rostschwellen und Zangen angeschütteten Erde ist aufserdem die Wasserdichtigkeit des Bodens noch vermehrt. Der Vorzug dieser Anordnung beruht darauf, dafs man, falls einzelne Bohlen schadhaft werden, dieselben leicht durch andre ersetzen kann. Diese Bohlen sind 5 Zoll stark, leisten also hinreichenden Widerstand, und auf ihre Befestigung wurde grofse Sorgfalt verwendet.

Die Seitenwände bestehn theils aus Balken und theils aus Ständern. Die letzten sind auswärts mit Bohlen bekleidet. Die Erfahrung hatte nämlich ergeben, dafs die Ständer immer am meisten an denjenigen Stellen leiden, die etwas über den gewöhnlichen Ebben sich befinden, weil hier der Wechsel der Benetzung und Austrocknung am häufigsten eintritt, und zur Zeit der warmen Witterung am nachtheiligsten ist. Man suchte sonach die Haltbarkeit der Ständer dadurch zu vermehren, dafs man sie nicht bis zu dieser Tiefe herabreichen liefs. Die Balkenwände, auf denen sie aufstehn, leisten theils wegen ihrer gröfsern Stärke einen kräftigern Widerstand, theils aber können einzelne schadhafte Stellen darin auch leicht ausgeschlagen und durch frisches Holz ersetzt werden.

Vier Lagen Balken bilden den untern Theil jeder Seitenwand, und die unterste Lage ist einige Zoll tief in jede Zange eingelassen und lehnt sich aufserdem gegen den Bohlenboden. Die Balken bestehn aus starkem Holz und greifen durch Spundungen in einander. Auf der obern Lage stehn nicht nur die Ständer der Gebinde, sondern auch die Bohlen auf, die sich an die Ständer lehnen. Die Gebinde oder Joche sind durch Bänder abgesteift, und durch drei Deckbalken mit einander verbunden. Indem die Ständer nichts desto weniger sehr lose aufstehn, auch

die darunter befindlichen Balken durch den Seitendruck leicht vorgeschoben werden können, so ist jedes Gebinde noch auswärts durch zwei Blind-Ständer unterstützt, die in die Köpfe jeder Zange eingelassen und mittelst starker Bolzen mit den eigentlichen Ständern, so wie auch abwechselnd mit jedem zweiten Balken verbunden sind.

Das Vorsiel, welches die Figur gleichfalls darstellt, ist in der gewöhnlichen Weise angeordnet. Der Boden desselben ruht auf Pfählen, die jedoch nicht so nahe stehn, als die Grundbalken oder Zangen liegen, vielmehr ist von den erstern nur abwechselnd einer um den andern durch drei Pfähle unterstützt. An der äufsern Seite des Vorsiels befindet sich eine Spundwand. Die Seitenwände werden durch Ständer gestützt, die in die Grundbalken verzapft, und deren Rahme durch Spannriegel gegen einander verstrebt sind. Auf den Rahm des Schlaggebindes, welches zugleich das Siel begrenzt, ist ein Geländer gestellt, das bei allen hölzernen Sielen vorzukommen pflegt, und gegen welches der Fufs des Deichs sich lehnt. Das innere Vorsiel ist eben so wie das äufsre angeordnet, es ist nur kürzer, und wird durch niedrigere Wände eingeschlossen. Letztere sind aber nicht durch Spannbalken gegen einander verstrebt, sondern werden durch Erdanker gehalten, weil erstere den Durchgang der Schiffe verhindern würden. An das letzte Gebinde auf der innern Seite, welches wie das Schlaggebinde mit einer Schwelle versehn ist, und worin die Balkenlagen wieder verzapft und die Bohlen des Bodens befestigt sind, lehnt sich ein Schütz, das bei anhaltender Dürre eingesetzt wird, um das zu starke Abfliefsen des Binnenwassers zu verhindern.

Die so eben beschriebene Verbindung der Balken- und Ständer-Construction hat sich indessen nicht so vortheilhaft gezeigt, als man erwartete. Eines Theils gewährte sie nicht die Festigkeit der Ständersiele, und andrerseits waren auch die Reparaturen schwieriger auszuführen, als bei den Balkensielen. Man ist daher schon seit geraumer Zeit davon wieder zurückgekommen.

Um die ganze Anordnung und die Verbindung mit dem Deich anschaulich zu machen, ist in Fig. 39 noch dasjenige Siel dargestellt, welches nach Woltman's Angabe am rechten

Ufer der untern Elbe erbaut ist. *a* zeigt den Längendurchschnitt, *b* den Grundrifs, *c* den Querdurchschnitt und *d* die Ansicht von der Seeseite. Es unterscheidet sich in mehrfacher Beziehung von der Construction, die Hunrichs empfohlen hatte. Seine Dimensionen sind nicht bedeutend, da es im Lichten nur 9 Fufs weit und 7 Fufs hoch ist. Der Boden ruht auf einem Pfahlrost, und das einzige Thorpaar befindet sich unmittelbar neben dem äufsern Vorsiel. Die Seitenwände bestehn aus starken Bohlen, welche an besonders eingerammte Pfähle genagelt sind. Letztere geben dem Siel mehr Steifigkeit, und verhindern sehr wirksam das Verziehn des Querprofils, vermehren aber die Rammarbeiten wesentlich und erschweren die Reparaturen. Neben dem innern Vorsiel bemerkt man die Windevorrichtung zum Herablassen und Heben des Schützes.

Ueber den Bau massiver Siele ist wenig zu bemerken, da die Construction derselben im Allgemeinen sehr einfach ist. In den Niederlanden findet man sie häufig, und sogar häufiger, als hölzerne. Auch im Oldenburgischen kommen sie nicht selten vor.

Die massiven Siele sind in den Oldenburger Marschen theils aus Werkstücken und theils aus Ziegeln erbaut, und mehrfach hat man versucht, sie ohne Pfahlrost nur auf dem geebneten Erdboden auszuführen. In diesem Fall sind sie aber nicht selten beim ungleichen Nachgeben des Untergrundes unter der verschiedenartigen Belastung durch den Deich gebrochen. Die Trennung erfolgt indessen immer nach der Quere und sonach behält jeder einzelne Theil, obwohl er sich von den anstofsenden löst, dennoch in sich den Zusammenhang. Der Erfolg ist also kein andrer, als wenn man den überwölbten Canal ursprünglich schon aus einzelnen Stücken zusammengesetzt hätte, von denen ein jedes sowohl dem Druck von oben, als von den Seiten hinreichenden Widerstand leisten kann. Namentlich sollen auch diejenigen Theile, worin die Thore sich befinden, bei dieser Trennung weder an Festigkeit noch an Dichtigkeit des Schlusses leiden, und sonach erfüllen diese Siele, wenn sie auch sehr auffallende Querrisse zeigen, dennoch ihren Zweck. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man nichts desto weniger bei Neubauten solche Zufälligkeiten möglichst vermeiden mufs, weil die Gefahr sehr nahe liegt, dafs dieselben zu starken Durchquellungen Ver-

anlassung geben, auch wohl die Trennungen neben die Wendenischen und Schlagschwellen treffen und alsdann die Beweglichkeit und den guten Schlufs der Thore hindern können. Dieses ist der Grund, dafs in neuerer Zeit niemals ein massives Siel ohne Pfahlrost erbaut wird. Im Allgemeinen kann man diese Vorsicht nur billigen, aber, wie bereits erwähnt worden, tritt alsdann der Uebelstand ein, dafs der Deich eine sehr verschiedenartige Unterlage erhält. Derjenige Theil desselben, der auf dem Siel ruht, kann sich nur wenig setzen, der daneben befindliche drückt sich dagegen in den nachgebenden Untergrund tiefer ein. Hierdurch entsteht eine Trennung im Deich selbst, welche sich durch seine ganze Breite erstreckt, und zu noch gröfsern Gefahren Veranlassung geben kann, als wenn das Siel mehrere Querbrüche erlitten hätte. Wenn man daher an einer Stelle, wo bisher noch kein Deich gelegen hat, also der Untergrund noch nicht comprimirt ist, ein massives Siel sicher fundiren will, so ist es dringend nöthig, die Baustelle so auszuwählen, dafs sie auf recht festen Boden trifft, der unter der spätern Belastung wenigstens nicht stark eingedrückt wird.

Fig. 44 auf Taf. VIII. zeigt den vordern Theil eines auf Pfählen ruhenden massiven Siels und zwar nach der Anordnung, die Hunrichs wiederholentlich gewählt und in seinem Werke beschrieben hat. Das erste Thorpaar schlägt in das Vorsiel auf, und dieses ist in sofern auch unbedingt zulässig, als das Gewölbe unmittelbar dahinter hinreichend stark ist, um den Durchbruch des Wassers zu verhindern, falls der Fufs der Erdschüttung darüber fortgespült werden sollte. Dieses Gewölbe bildet, indem die Steine bis zum Schlufsstein immer weiter vortreten, den obern Drempel, an welchen die Thore anschlagen. Diese Einrichtung bietet keine Schwierigkeit, insofern, wie bereits erwähnt, die Stemmung unter einem sehr stumpfen Winkel erfolgt. Die äufsre Stirn des Gewölbes trägt zugleich die starke Brustmauer, an welche der Fufs der Erdböschung sich anlehnt.

Die Bildung der Kammer für das innere Thorpaar bedingt augenscheinlich eine wesentliche Abweichung von der einfachen Construction eines überwölbten Canals, wenn man nicht die lichte Weite und Höhe des letztern bedeutend beschränken und sowol die Widerlager, als auch das Gewölbe soweit vortreten

lassen will, dafs gegen beide der nöthige Anschlag für die Thore gewonnen wird. Hunrichs hat das sehr passende Auskunftsmittel angewendet, dafs er das Tonnengewölbe über der Thorkammer durch eine Kappe ersetzt. Sowol vor als hinter dieser Thorkammer sind die Widerlager verstärkt, auch sind die anschliefsenden Gewölbe mit niedrigen Brustmauern versehn. Diese Brustmauern bilden Widerlager für die Kappe, und bis über die letztern reichen die beiden Seitenmauern herauf, welche, wie der Grundrifs Fig. 44 *a* zeigt, gegen die Hauptmauern des Siels etwas zurückspringen und auf diese Art die Thor-Nischen darstellen.

Wesentlich verschieden hiervon ist die Anordnung der Siele in den Niederlanden. Die äufsern Thore derselben schlagen zwar auch gegen das Gewölbe des Siels, dieses Gewölbe setzt sich aber in der ganzen Länge ohne Unterbrechung und in gleicher Höhe fort, es erhält nur über der innern Thorkammer eine etwas gröfsere Spannweite, und indem die Widerlagsmauern zu beiden Seiten zurücktreten, bilden sich die Thornischen, die jedoch nicht entfernt die volle Höhe der Sielöffnung haben. Die innern Thore müssen hiernach viel niedriger gehalten werden und sind häufig wie gewöhnliche Schleusenthore eingerichtet und aufgehängt, und lehnen sich, wenn sie geschlossen sind, nur an die untern Schlagschwellen an. In diesem Fall können sie nicht unmittelbar zur Abhaltung des Hochwassers benutzt werden, sie dienen vielmehr nur zur Vertheilung des Wasserdrucks und hierdurch zur Unterstützung der äufsern Thore. In dieser Beziehung ist ihre Anordnung aber sehr zweckmäfsig, denn der Raum zwischen beiden Thorpaaren kann nie höher, als bis zum obern Rahm der Thore gefüllt werden, und sonach tritt bei hohem äufsern Wasserstande die Vertheilung des Drucks wirklich ein. Lehnen sich dagegen die innern Thore auch oben wasserdicht gegen ein Schlagrahm, so hängt es von der gröfsern oder mindern Dichtigkeit der Thorpaare ab, ob dieses oder jenes den ganzen Druck aufnimmt, und nur in seltnen Fällen dürften sie wirklich sich gegenseitig unterstützen.

Doch auch in den Niederlanden werden häufig die innern Thore gleichfalls gegen Schlagrahmen gelehnt und diese sind alsdann wie die Schlagschwellen zusammengesetzt. Ihre Ver-

bindung besteht, übereinstimmend mit den Drempeln gewöhnlicher Schiffsschleusen, aus dem Mittelbalken, in den die beiden Schlagschwellen mit Zapfen und Versatzung eingreifen, und diese werden noch durch einen kurzen Binder an den frei liegenden Enden gegen den Mittelbalken gestützt. Der letztere wird mit seinen Enden in den Seitenmauern oder Widerlagern unmittelbar unter dem Anfange des Gewölbes vermauert. Bei weitern Oeffnungen hängt man ihn selbst, oder auch wohl zugleich den Binder noch an eiserne Zugstangen, die auf der obern Fläche des Gewölbes mit ihren breiten Köpfen auf Unterlage-Scheiben ruhn. Der Raum zwischen den Mittelbalken und den Schlagschwellen wird demnächst durch Bohlenstücke geschlossen und gedichtet. Um aber auch die Oeffnung zwischen dem Mittelbalken und dem Gewölbe zu schliefsen, wird auf den Erstern eine Mauer gestellt, die sich möglichst scharf an das Letztere anschliefst. In dieser Weise wird der Durchflufs des Wassers über den innern Thoren vollständig gesperrt. Fig. 47 *b* und *c* lassen die Anordnung erkennen.

§ 19 a.

Entwässerung des Rheinlandes durch die Siele bei Catwijk.

Eine der grofsartigsten Entwässerungs- und Siel-Anlagen, die jemals ausgeführt sind, ist die Entwässerung des sogenannten Rheinlandes in der Provinz Süd-Holland. Das Rheinland erstreckt sich von der Nordsee bis gegen Utrecht, und reicht im Süden bis nahe an die Maas und den Leck, wie im Norden stellenweise bis gegen das Y. Sein Flächeninhalt mifst 123500 Bunders oder 22 Deutsche Quadratmeilen.

In frühern Zeiten wurde es durch den Rhein oder vielmehr durch einen Arm desselben durchströmt und dieser mündete ohnfern Leyden in die Nordsee. Die Aenderungen, welche im Laufe der Zeit der Rhein mit seinen Nebenarmen erfahren hat, sind bereits im zweiten Theil dieses Handbuchs (§ 25) angedeutet. Das alte Bett des Rheins ist aber noch in seiner

ganzen Länge bis an die Dünenkette, welche die Nordsee begrenzt, vorhanden, und wird theils für die Binnenschiffahrt und theils zur Entwässerung benutzt. Es beginnt bei Wijk bij Duurstede, wo eine Schiffsschleuse es von dem Leck trennt, welche die Einströmung des Wassers aus dem letztern dauernd verhindert. Die sehr niedrige Lage des Rheinlandes macht diesen Abschlufs nothwendig, selbst wenn es möglich gewesen wäre, die Mündung in die Nordsee zur Abführung grofser Wassermassen hinreichend geöffnet zu erhalten. Von dem Leck bis Utrecht nennt man den alten Rheinlauf den Krummen Rhein, und weiterhin bei Leyden vorbei bis zum Dorfe Catwijk aan den Rhijn, den alten Rhein. Die letzte Strecke, die sich bis gegen die Dünen bei Catwijk aan Zee hinzieht, und so schmal ist, dafs sie selbst für kleine Schiffahrt nicht benutzt werden kann, heifst endlich das Mallegat.

Die Mündung in die See war bis zum Anfang dieses Jahrhunderts vollständig gesperrt durch die Dünenkette, die obwohl stellenweise stark bedroht, sich doch ohne Unterbrechung von der Mündung der Maas bis zur nördlichsten Spitze von Nord-Holland auf 17 Meilen Länge hinzieht. Es fand sonach keine unmittelbare Entwässerung nach der Nordsee statt. Das Rheinland entwässerte damals zum geringsten Theile durch die Jjssel bei Gouda in die Maas, doch ist die Schleuse bei Gouda so enge und auch im Uebrigen sind die Verhältnisse hier so ungünstig, dafs auf diesem Wege immer nur wenig Wasser abgeführt werden konnte. Wichtiger waren die vier Siele bei Spaarndam, nördlich von Haarlem, vorzugsweise wurde aber das Quell- und Regenwasser des Rheinlandes in das Haarlemer Meer abgeführt, und dieses hatte wieder durch die drei Siele bei Halfwege, zwischen Haarlem und Amsterdam seinen Abflufs nach dem Y.

Die Ableitung des Wassers erfolgte daher auf einem übermäfsig langen Umwege. Das Rheinland grenzt unmittelbar an die Nordsee, und dennoch wurde das Wasser durchschnittlich mehrere Meilen bis zum Harlemer Meer, und aus diesem durch das Y und die Süder-See abgeführt. Dieser Uebelstand war um so nachtheiliger, als das Y bei gewöhnlichen Ebben nur etwa 14 Zoll unter die mittlere Fluthhöhe vor Amsterdam herabsinkt, wogegen die Nordsee bei Catwijk $2^1/_2$ Fufs unter die letztere

bei gewöhnlichen Ebben sich senkt. Es war also nahe 1 $^{1}/_{2}$ Fufs an absolutem Gefälle verloren, und zugleich der Weg übermäfsig verlängert, woher das relative Gefälle sich noch mehr verminderte. Aufserdem kam der ungünstige Umstand hinzu, dafs bei nördlichen und in geringerem Maafse auch bei östlichen Winden das Wasser im Y vor den Sielen bei Halfwege stark aufgetrieben wurde, woher oft Monate hindurch gar keine Entwässerung auf diesem Wege erfolgen konnte.

Unter diesen Verhältnissen lag der Gedanke sehr nahe, die alte Rheinmündung behufs der bessern Entwässerung dieser grofsen Landfläche wieder zu eröffnen. Schon im Jahre 1687 wurde dieses vorgeschlagen und noch dringender wurde es durch Lulolfs in der Mitte des vorigen Jahrhunderts empfohlen, der zu diesem Zweck Wasserstands-Beobachtungen machen liefs und zusammenstellte, und durch Nivellements verband, woraus sich der grofse Nutzen solcher Anlagen augenfällig ergab. Die Ausführung unterblieb indessen damals, weil man von den grofsen Kosten abgesehn, an dem Erfolg zweifelte und noch mehr, weil man nicht den gröfsten Theil der ganzen Provinz Holland der Gefahr eines Einbruchs der Nordsee aussetzen wollte, indem seine Sicherheit allein auf der Festigkeit eines Siels beruhen würde.

Im Jahre 1802 veröffentlichte A. P. Twend ein Project zu solcher Canal- und Sielanlage, das einigermaafsen mit dem später ausgeführten übereinstimmte. Dieses nahm so sehr die allgemeine Aufmerksamkeit in Anspruch, dafs der Vorstand des Deichverbandes für Rheinland auf den Rath von Brünings die Beurtheilung der Schrift dreien namhaften Ingenieuren, nämlich F. W. Conrad, A. Blanken Jansz. und S. Kros übertrug. Dieselben gaben am 2. April 1803 ein Gutachten*) ab, dem sie zugleich ein etwas verändertes vollständiges Project nebst Kosten-Anschlag beifügten, und dessen Ausführung dringend empfahlen. Obwohl auch damals wieder manche Bedenken erhoben, und namentlich auf die grofse Gefahr für die ganze Niederung hingewiesen wurde, wenn man den natürlichen, sehr sichern Schutz

*) Rapport wegens het gedaan Onderzoek omtrent eene Uitwatering te Catwijk op Zee. Eine grofse Anzahl Zeichnungen, so wie auch vier Beilagen waren demselben hinzugefügt.

der Dünen an einer Stelle unterbrechen und die Sicherheit des Landes von einem Siel an offener See abhängig machen wollte, so überzeugte man sich doch andrerseits, dafs der stets zunehmenden Versumpfung endlich eine Grenze gesetzt werden müsse. Das Project wurde genehmigt und in den Jahren 1804 bis 1807 mit einigen Abänderungen ausgeführt.

Fig. 45 zeigt die Situation bei Catwijk, es ist jedoch in dieser Zeichnung die gegenwärtige Anlage mit den Verbesserungen, die viel später angebracht wurden, dargestellt. Ursprünglich wurde der Canal nur mit dem Rhijn in der Nähe von Catwijk am Rhein in Verbindung gesetzt und dieser Canal selbst, so wie auch seine Schleusen erhielten geringere Dimensionen.

Twend hatte vorgeschlagen, auch den letzten Theil des alten Rheinlaufs, nämlich das Mallegat als Entwässerungs-Canal zu benutzen. Die Commission widerrieth dieses indessen, weil zunächst die Breite und Tiefe desselben so geringe waren, dafs nur eine unbedeutende Ermäfsigung der Erdarbeiten dabei in Aussicht stand. Sodann bemerkte sie, dafs das Terrain daneben besser bebaut und daher beim Ankauf viel theurer wäre, und endlich machte sie auf die grofse Schwierigkeit und selbst auf die Gefahr für das Dorf aufmerksam, wenn man den Canal durch dieses hindurch führen wollte. Sie verlegte daher die Mündung weiter nach Norden, wie die Figur zeigt.

Die Commission schlug jedoch vor, den Canal von der See ab nur bis zu dem Punkt zu führen, wo das Mallegat sich mit dem alten Rhein verbindet, und von hier ab den letztern schon als Zuleitungsgraben zu benutzen. Hiervon wurde indessen bei der Ausführung abgewichen und der Canal ist bis oberhalb Catwijk a. d. R., also etwa 300 Ruthen weiter aufwärts geführt, wo er sich besser an den Rheinlauf anschliefst, und wodurch zugleich die Gefahr für das benannte Dorf abgewendet ist, welches sonst an dem stark concaven Ufer bei heftiger Entwässerung bedroht sein würde. Dieser Canal erhielt ursprünglich in dem Horizont von Amsterdamer Peil (gewöhnlich *A P* bezeichnet) oder in der ordinären Fluthhöhe vor Amsterdam nur die Breite von 20 Ellen oder 63 Fufs 9 Zoll.

Um einem Durchbruch der See vorzubeugen, wurden zwei überaus feste Siele, nämlich *A* und *B* hinter einander erbaut,

von denen jedes allein bei den höchsten Sturmfluthen volle Sicherheit bot.

Sodann war noch das Bedenken erhoben, dafs die Nordsee von Jahr zu Jahr weiter in das Land dringe, indem die Dünen immer zurückweichen, und sonach sei zu besorgen, dafs das vordere Siel *A* einst auf dem Strande liegen werde und leicht daneben ein Durchbruch erfolgen könne. Dieser Umstand erforderte eine nähere Untersuchung. Es ergab sich durch Zusammenstellung der sichersten Nachrichten, dafs in dem Zeitraume von 1571 bis 1708 die See an dieser Stelle um 300 Fufs, und ebensoviel auch von 1708 bis 1766, von 1766 dagegen bis 1802 nur um 54 Fufs vorgedrungen sei. Das Ufer wich also in diesen drei Perioden durchschnittlich 2,2, 5,2 und 1,5 Fufs jährlich zurück. Die Commission machte darauf aufmerksam, dafs diese Resultate keine Besorgnifs begründen könnten, in sofern an andern Stellen, die einem viel stärkern Angriff ausgesetzt wären, demselben sehr sicher durch Buhnenanlagen eine Grenze gesetzt sei. Die beiden Werke, welche zur Seite des Canals in die See treten, würden ohnfehlbar den Strand hinreichend schützen und sein weiteres Zurückweichen verhindern. Diese Ansicht ist vollständig durch die Erfahrung bestätigt, und der Strand hat sich sogar auf der südlichen Seite seewärts ausgedehnt, auch sind die Dünen nicht zurückgewichen, obwohl auf ihre Erhaltung wenig Sorge verwendet wird. Es ist nämlich sogar gestattet, sie beliebig zu betreten, und die Einwohner von Leyden machen hiervon, wie ich einst bemerkte, einen sehr ausgedehnten Gebrauch.

Endlich wurde noch die Besorgnifs ausgesprochen, dafs die Binnenschiffahrt, namentlich auf der Spaarne leiden werde, wenn dieser Flufs seine bisherige Speisung verliert. Es liefs sich aber leicht nachweisen, dafs die befürchtete Senkung des Wasserstandes ganz unbedeutend sei.

Die Siele oder Schleusen wurden übereinstimmend mit den Vorschlägen der Commission ausgeführt. Die vordere, in Fig. 45 mit *A* bezeichnete ist unbedingt dem stärksten Angriff ausgesetzt. Aus diesem Grunde werden ihre fünf ziemlich schmalen Oeffnungen nicht durch Thore, sondern durch sehr feste Schütze geschlossen, die auf beiden Seiten einen höhern Wasserstand

halten können. Bei heftigen Stürmen und namentlich während Sturmfluthen läfst man diese Schütze herab, um die dahinter liegende zweite Schleuse jeder Gefahr zu entziehn. Dasselbe geschieht auch, wenn man die Canalmündung spülen will und zu diesem Zweck die vordere Canalstrecke mit Fluthwasser gefüllt hat. Gewöhnlich sind die Schütze indessen geöffnet und bleiben bei ruhiger Witterung Monate hindurch unberührt.

Die zweite Schleuse *B* ist das eigentliche Siel, doch darf man diese Benennung ihr kaum beilegen, insofern sie nicht überdeckt und der Deich nicht über sie fortgeführt ist. Sie hat in jeder Oeffnung zwei Paar Fluththore hinter einander, auf welche der Druck bei hohem Stande der See vertheilt wird. Ein drittes Thorpaar in jeder Oeffnung war nach dem Binnenlande gekehrt, um die Ausströmung, wenn es nöthig ist, zu unterbrechen, auch befand sich in jedem Flügel der letztern ein Spülthor. Diese dritten Thore existiren jedoch nicht mehr.

Endlich ist noch eine dritte Schleuse *C* hinzugefügt, die eigentlich nur eine überwölbte und mit Schlagschwellen versehene Brücke ist. Jede Oeffnung derselben kann durch ein grofses, nur aus einem Flügel bestehendes Thor geschlossen werden, das sich flach an die Stirnfläche des Bogens lehnt. Diese Thore schlagen seewärts auf und haben den Zweck, die weitere Verbreitung des Seewassers in dem Canal zu verhindern, so oft man solches behufs der Spülung in die vorderste Strecke zur Zeit des Hochwassers einläfst.

Was die Höhen-Verhältnisse betrifft, so ist zu erwähnen, dafs die gewöhnlichen Fluthen bei Catwijk bis 3 Fufs über Amsterdamer Peil steigen, die gewöhnlichen Ebben dagegen $2\frac{1}{2}$ Fufs darunter sinken. Bei Sturmfluthen erhebt sich der Wasserspiegel ohne Rücksicht auf die Höhe der Wellen bis auf 10, auch wohl auf $10\frac{1}{2}$ Fufs. Die Düne stieg in ihrem natürlichen Zustande in der Richtung des Canals zwischen den Schleusen *A* und *B* bis $37\frac{1}{2}$ Fufs über Amsterdamer Peil an, obwohl sie gerade hier sich auffallend einsenkt. Viel geringer war die Höhe der flachen Düne im Dorf Catwijk, die stellenweise nur 18 Fufs über Amsterdamer Peil sich erhob. Die Terrainhöhe neben der Schleuse *B* mifst 12 Fufs, senkt sich aber von hier ziemlich gleichmäfsig und beträgt bei der Schleuse *C* nur noch 3 bis

4 Fufs. Dieselbe Höhe setzt sich in der Richtung des Canals bis zu dem Noordwijker Wege fort, der von Catwijk a. d. R. in nördlicher Richtung abgeht, und von hier tritt der Canal in das niedrige Terrain, welches durchschnittlich in der Höhe des Amsterdamer Peils liegt. Der Wasserstand im alten Rhein darf die Höhe von 1 Fufs unter Amsterdamer Peil nicht übersteigen, weil sonst die Entwässerung nicht genügt.

Der Canal liegt mit seiner Sohle auf — 7 Fufs *A P*, die Fachbäume der Schleusen dagegen 9 Zoll höher, also auf — 6 Fufs 3 Zoll. Zur Zeit der Springfluthen sinkt die Nordsee hier bis auf — 2 Fufs 6,6 Zoll herab, so dafs der Wasserstand auf den Fachbäumen alsdann nur 3 Fufs 8,4 Zoll beträgt. Dieses Maafs ist vergleichungsweise gegen andre Schleusen sehr gering, denn die Schlagschwellen der Siele bei Spaarndamm liegen auf — 11 Fufs 9,5 Zoll, während das niedrigste Wasser im Y viel höher bleibt, als das der Nordsee.

Die der See zugekehrte Stirnmauer der Schleuse *A* hat die Höhe + 19 Fufs, und steigt theils selbst und theils in der anschliefsenden Verdachung bis + 26 Fufs an. Indem nun die höchsten Fluthen sich nur bis + 11 Fufs erheben, so ist der Eintritt derselben und sogar der Wellen sicher verhindert. Auf beiden Seiten setzen sich Flügelmauern in 18 Fufs Höhe bis unter die Dünen fort. In der Schleuse *B* liegen die Mauern auf + $16^3/_4$ Fufs und die vorderen Fluththore auf + 15 Fufs. Der darüber führende Weg liegt auf + 17 Fufs.

Zur Ermittelung der nöthigen Durchflufsöffnungen der drei Schleusen untersuchte die Commission die Profile der Wasserläufe, welche bei Catwijk abgeleitet werden sollten, und zwar wurden diese sämmtlichen Profile in dem Horizont von 1 Fufs unter Amsterdamer Peil gemessen. Es ergab sich, dafs für den bezeichneten Wasserstand allein der alte Rhein und das Rheinische Fliefs in Betracht kommen. Letzteres ergiefst sich bei Catwijk in den erstern. Der von Norden herabkommende Canal, die Maandagsche Watering genannt, lag dagegen so hoch, dafs er in trockner Jahreszeit gar keine Zuflüsse aufnahm. Die Summe der Profil-Oeffnungen der beiden ersten Wasserläufe und zwar an solchen Stellen, wo sie ziemlich beengt waren, stellte sich auf 264 Quadratfufs heraus. Eine gleiche Oeffnung wurde für die

Schleusen bestimmt. Die Höhe der Schlagschwellen und Fachbäume setzte die Commission dagegen auf 6 Fufs unter Amsterdamer Peil, damit selbst bei niedrigem Wasserstande noch ein kräftiger Abflufs erfolgen könne. Hiernach ergab sich für den angenommenen Wasserstand in den Schleusen die Höhe des Durchflufs-Profiles gleich 5 Fufs, und folglich die Gesammtbreite desselben 52 Fufs 10 Zoll. Das Hauptsiel erhielt 3 Oeffnungen von 18 Fufs, die äufsere Schleuse *A* dagegen 5 Oeffnungen von 12 Fufs Weite, und die innere Schleuse *C* wieder 3 Oeffnungen von 20 Fufs.

Ueber den zu erwartenden Effect der Schleusen und die Wassermengen, welche dieselben unter den verschiednen Verhältnissen abzuführen im Stande sind, spricht sich der Commissions-Bericht nicht näher aus.

Die beiden Höfter, welche die Mündung einschliefsen, wurden etwa 36 Fufs breit aus Senkstücken erbaut und mit gröfsern Steinen sorgfältig abgedeckt. Sie sind 40 Ruthen lang, und im Lichten 25 Ruthen von einander entfernt. Ihre Köpfe erheben sich nur wenig über das gewöhnliche niedrige Wasser, die Wurzeln liegen dagegen etwa 1 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser. Die Steindecke bestand Anfangs nur aus flachen Steinen von mäfsiger Stärke, die von Flechtzäunen umschlossen waren. Später hat man dagegen Bankete von 18 Fufs Breite dagegen gelehnt und die Krone flach gewölbt und mit schweren Brabanter Steinen, zum Theil auch mit hohen Basalten abgepflastert. Aufserdem sind die Fugen in der Krone bis gegen das Ufer mit Mörtel ausgestrichen. Nichts desto weniger bemerkte ich, als ich 1862 die Anlage sah, dafs das Pflaster, sowol binnenseitig, als vor den Köpfen, an ganz frische Flechtzäune sich lehnte, woraus sich also ergiebt, dafs die Beschädigungen und Reparaturen keineswegs aufgehört haben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die äufsere Schleuse *A*, deren Flügel sich mittelbar durch die davor angebrachte Steinböschung an jene Höfter anschliefsen. Fig. 46, *a*, *b* und *c* auf Taf. IX stellt diese Schleuse im Grundrifs, in der Ansicht von der Seeseite und im Querschnitt dar, doch stimmt die Ausführung nicht vollständig mit diesen aus dem Bericht der Commission entlehnten Zeichnungen überein. Der vordere Theil, der die

Schütze und deren Befestigung und Aufstellung umfafst, hat keine Aenderung erfahren, aber die Pfeiler setzen sich hinter der Brücke etwa 10 Fufs weiter fort, als die Zeichnung angiebt, und zwischen der Brücke und den nächsten Dammfalzen dahinter waren früher noch Spülthore eingehängt, deren Aufstellung aufserdem die Anbringung besondrer Fachbäume und die Veränderung des Grundwerks nöthig machte. Diese Thore, welche zur Spülung der Mündung zwischen jenen vortretenden Molen dienen sollten, sind indessen später wieder beseitigt, weil die Schütze schon denselben Zweck erfüllen und namentlich nur das mittlere geöffnet werden durfte, um einen kräftigen Strom bis zum tiefern Wasser darzustellen.

Die Stirnpfeiler erheben sich 19 Fufs über Amsterdamer Peil, die vier Mittelpfeiler dagegen nur 13 Fufs. Die Oeffnungen sind 12 Fufs weit und jede derselben ist auf der äufsern Seite durch einen 10 Fufs breiten Bogen überspannt, dessen Scheitel in der untern Fläche $7\frac{1}{2}$ Fufs über Amsterdamer Peil liegt. Diese Bogen sind bis zur Höhe der Stirnpfeiler voll übermauert, und das Mauerwerk steigt neben den Schützen noch höher an, und bildet eine Verdachung, von welcher das aufspritzende Wasser leicht abfliefsen kann. Durch diese grofsen Mauermassen wird die Kraft der gegenschlagenden Wellen gebrochen. Auf der Binnenseite schliefsen sich an die Falze, worin die Schütze sich bewegen, wieder andre Bogen an, deren Scheitel auf 11 Fufs *AP* liegen. Diese letzten Bogen bilden zugleich eine Brücke. Das Mauerwerk ist aus gebrannten Steinen ausgeführt, in den Ecken und neben den Dammfalzen aber mit grofsen Werkstücken verkleidet. Aufser den Falzen für die Schütze befinden sich in jedem Pfeiler, wie die Figur zeigt, noch vier Dammfalze, worin bei Reparaturen, oder wenn die Schütze brechen sollten, sowohl auf der See- als auf der Landseite zwei Reihen Dammbalken eingelegt werden können.

Die Construction des Schleusenbodens ergiebt sich mit hinreichender Deutlichkeit aus den Figuren und stimmt mit der in den Niederlanden üblichen Bauart überein. Zu erwähnen ist nur, dafs man aus Besorgnifs vor den Zerstörungen durch den Bohrwurm den ganzen hölzernen Boden dieses Bauwerks, soweit derselbe nicht übermauert ist, mit Kupferblech überdeckt hat, was

auch im Grundrifs angedeutet ist. Diese Figur stellt übrigens in den verschiedenen Oeffnungen verschiedene horizontale Durchschnitte dar.

Der wichtigste Theil in diesem Bau ist der Verschlufs der Oeffnungen durch die Schütze. Dieselben sind $12\frac{1}{2}$ Fufs hoch und bestehn aus hölzernen Rahmen, worin sich fünf horizontale Querriegel befinden. Diese sind mit $2\frac{1}{2}$zölligen Bohlen verkleidet. Wenn sie geschlossen sind, so stehn sie unten in Falzen, die in den starken Fachbäumen angebracht sind, zu beiden Seiten ruht jedes Schütz in Mauerfalzen, und oben lehnen sie sich wieder, sowohl vorn, als hinten, an starke Balken, die in die Pfeiler eingreifen. Indem aber diese Balken und die Oberkanten der Schütze noch nicht bis zu den Scheiteln der Gewölbe reichen, so würden bei heftiger Bewegung des Meers die Wellen noch darüber fortschlagen, und Beschädigung der Canalufer veranlassen. Um dieses zu verhindern, sind auf jene Balken Mauern gestellt, von denen die vordern sich an die Stirnen der ersten Bogen, die hintern aber an die innern Flächen der Brückenbogen stumpf anschliefsen. Man würde bei uns eine solche Construction kaum bei gewöhnlichen Bauten und gewifs nicht bei einem so wichtigen Werk gut heifsen. In den Niederlanden, auch in England und Frankreich ist man indessen in dieser Beziehung weniger besorgt, und man darf dabei auch nicht übersehn, dafs diese Mauern, falls sie schadhaft werden sollten, leicht erneut werden können. In der beschriebenen Art lassen sich die Oeffnungen vollständig verschliefsen, die Wellen aus der See werden daher vom Canal ganz abgehalten, und dieses ist der Hauptzweck der ersten Schleuse. Zur Abhaltung des Hochwassers dient dieses Bauwerk nur in geringem Maafse, denn ohnerachtet der Spundwände, welche den Boden und die nächsten Umgebungen sichern sollen, dringen die Quellungen überall durch den Sand hindurch, und bei hohen Fluthen füllt sich die erste Canalstrecke bis nahe an den Horizont des äufsern Wasserspiegels an. Das Hochwasser mufs daher durch die zweite Schleuse vom Binnenlande abgehalten werden.

Zum Oeffnen der Schütze ist jedes derselben mit zwei gezahnten Stangen versehn, die in zwei Getriebe an einer gemeinschaftlichen Achse eingreifen. An dieser Achse befindet sich ein

Stirnrad, das in ein zweites Getriebe greift, und die Achse des letztern hat an jeder Seite eine Curbel und aufserdem eine Hornhaspel. Vier Mann können mittelst der Curbeln jedes Schütz leicht heben, wenn der Wasserstand auf beiden Seiten derselbe ist. Bei einem geringen Ueberdruck von der einen und der andern Seite müssen die Hornhaspeln zu Hülfe genommen werden. Wenn dagegen der Binnen-Wasserstand bedeutend höher als der äufsere ist, oder umgekehrt, so genügt die beschriebene Vorrichtung noch nicht, um die Bewegung durch vier Mann zu veranlassen, und bei der isolirten Lage der Schleuse kann man nicht immer darauf rechnen, eine gröfsere Mannschaft schnell genug herbeizuschaffen. Aus diesem Grunde ist das Schütz in der mittlern Oeffnung noch mittelst zweier Ketten mit einem sehr schweren Gegengewicht verbunden. Letzteres erleichtert seine Bewegung, und sobald das Schütz gehoben ist, läfst man das Wasser aus der ersten Canalstrecke abfliefsen, ehe man die andern vier Schütze zieht. Der starke Strom, der alsdann sich bildet, trägt wesentlich zur Aufräumung der Canal-Mündung bei, und aus diesem Grunde konnten auch ohne Nachtheil die Spülthore beseitigt werden. In neuerer Zeit hat man hierbei noch die Aenderung eingeführt, dafs das mittlere Schütz in zwei Theile zerlegt ist, von denen der obere stumpf auf dem untern steht, und besonders gezogen werden kann. Dieses geschieht, wenn man die Canal-Mündung spülen will, und das Hochwasser zu diesem Zweck in die vordere Strecke, bis zur Schleuse *C* eingelassen wird. Indem nämlich der Sand grofsentheils neben dem Boden bleibt, so ist es von Wichtigkeit, die untern Wasserschichten vom Canal abzuhalten, und man zieht daher nur die obere Hälfte des Schützes.

Die erste Canalstrecke, die 120 Ruthen lang ist, liegt ganz in den Dünen. Man mufste bei ihrer Anlage nicht allein die leichten Ufer gegen Abbruch durch die Strömung und den Wellenschlag, der sich im Canal selbst bildet, sichern, sondern aufserdem auch das Hineinfliegen des losen Dünensandes verhindern. Zu diesem Zweck sind die Ufer bis zur vollen Höhe der Dünen flach abgeböscht und mit mehrfachen Banketen versehn, aufserdem aber mit Erde und Rasen bedeckt. Die Böschungen haben ungefähr fünffache Anlage, und der Rasen war gut angewachsen. Ueberdies hatte man Anfangs

auf etwa 200 Ruthen Länge sowol nord- als südwärts die Dünen planirt und vollständig mit Sandgräsern bepflanzt, wodurch der fliegende Sand aufgefangen und gegen späteres Forttreiben geschützt wurde. Diese Canalstrecke erhielt ursprünglich in dem Horizont von Amsterdamer Peil die Breite von 80 Fufs. Die Seitenwände hatten bis 2 Fufs darunter dreifache und von hier bis zur Sohle ein und einhalbfache Anlage. Die Sohlenbreite betrug 55 Fufs.

Die zweite Schleuse *B* bildet das eigentliche Siel, welches sowol den hohen Wasserstand der See von dem Binnenlande abhält, als auch bei den Ebben, so oft diese unter das Niveau des Canals herabsinken, zur Auswässerung dient. Der Baugrund unter demselben ist ein fest abgelagerter, sehr zäher Klai, der vollkommene Sicherheit gegen das Durchquellen des Wassers bietet, nur die obern Lagen waren stark sandhaltig, doch gaben dieselben keineswegs zu Besorgnifs Veranlassung, da sie theils noch so viele Thontheilchen enthielten, dafs eine versuchsweise ausgehobene Grube mit senkrechten Seitenwänden und ohne Absteifung längere Zeit hindurch sich unversehrt erhielt, theils aber mufsten schon wegen der erforderlichen Tiefe des Sielbodens diese losern Schichten beseitigt werden.

Dieser Bau ist nicht als eigentliches Siel behandelt, insofern man den kurzen Deich, der die beiderseitig belegenen Dünen mit einander verbindet, nicht darüber fortführte, vielmehr erhielten die drei Oeffnungen keine Ueberdeckung und es wurde nur eine massive Brücke darüber gespannt. Der Grund, weshalb man diese Anordnung wählte, die ohne Zweifel die Anlage etwas erschwerte, war nur der Wunsch, alle Theile des Baues so frei aufzustellen, dafs sie jederzeit mit Sicherheit und bequem untersucht werden konnten. Bei dieser Schleuse ist das von der Commission aufgestellte Project ohne wesentliche Aenderung zur Ausführung gekommen.

Fig. 47, *a*, *b* und *c* zeigt diese Schleuse im Grundriss, in der Ansicht von der Seeseite und im Durchschnitt. Im Grundriss sind aber wieder zur Verdeutlichung der Construction die horizontalen Durchschnitte in verschiedene Höhen gelegt. Ursprünglich wurden, wie die Figuren angeben, drei Oeffnungen, jede von 18 Fufs lichter Weite dargestellt. Die Oberflächen

der Schlagschwellen legte man 6 Fufs unter Amsterdamer Peil. Die Stirnpfeiler, Mittelpfeiler und vordern Flügel-Mauern erheben sich bis 16 Fufs 9 Zoll über *A P*, der hintere oder landwärts gekehrte Theil des Bauwerks ist dagegen 10 Fufs niedriger gehalten. In jeder Oeffnung befanden sich drei Paare Stemmthore Die vordern Thore sind Fluth-Thore und wie gewöhnliche Schleusenthore behandelt. Sie lehnen sich, wenn sie geschlossen werden, nur unten gegen Schlagschwellen, die 1 Fufs über den Schleusenboden vortreten. Ihre Wendesäulen stemmen sich aber in Wendenischen, und sonach bilden sie eine kräftige Verstrebung gegen den Druck des Hochwassers. Ihre obern Rahmen liegen 15 Fufs über *A P.* Das zweite Thorpaar ist gleichfalls gegen die See gekehrt, oder bildet wieder Fluththore, die jedoch 10 Fufs niedriger sind, also nur wenig über die gewöhnlichen Springfluthen reichen. Die Schlagsäulen erheben sich indessen wieder bis über die Schleusenmauern, um die Thore in einfacher Weise öffnen, schliefsen und feststellen zu können.

Diese zweiten Thorpaare haben doppelten Zweck. Zunächst sind sie die eigentlichen Sielthore, die bei ruhiger Witterung allein benutzt werden, und indem sie sich von selbst öffnen und schliefsen, so veranlassen sie die Auswässerung und verhindern den Eintritt des Hochwassers in das Binnenland. Sie können deshalb auch durch Aufhalter gestützt werden, damit sie nicht etwa während der Fluth offen bleiben, vielmehr die erste eingehende Strömung sie schon fafst und verschliefst. Da jedoch hierdurch das Ausflufs-Profil beschränkt wird und mehrere Wärter neben der Schleuse wohnen, so pflegt man diese Aufhalter nicht zu benutzen, so lange die Entwässerung recht kräftig erfolgen soll. Die Wärter ziehn alsdann die Thore bei jeder Ebbe scharf in die Thornischen, und drehn sie, sobald der Strom umsetzt, wieder zurück. Demnächst dienen diese Thore auch zur Vertheilung des Drucks bei ungewöhnlich hohen Fluthen. In solchem Fall werden die äufsern Thore geschlossen, und von den in Rede stehenden innern unterstützt. Damit aber zwischen beiden ein mittlerer Wasserstand sich darstellt und dauernd erhält, befinden sich in jenen, wie in diesen noch Schütze, wodurch man theils den Zwischenraum in geeigneter Weise anfüllt, theils aber auch die Wasserverluste ersetzt, die bei gröfserer oder minderer Un-

dichtigkeit eines Thorpaares den beabsichtigten Wasserstand zwischen beiden verändern würden.

Das zweite oder niedrige Paar der Fluththore lehnt sich, wenn es geschlossen ist, nicht nur unten, sondern auch oben an Schlagschwellen oder an einen Drempel. Letzterer besteht gleichfalls aus Holz und auf den starken Mittelbalken, der die Basis des gleichschenkligen Dreiecks bildet, ist wieder eine Mauer gestellt, die den Raum bis zum Brückenbogen vollständig abschliefst. Diese Thore können daher, wenn die äufsern vielleicht aufser Thätigkeit gesetzt werden müssen, noch einen Wasserstand abhalten, der höher ist, als sie selbst sind.

Endlich wurde bei der ersten Anlage jede Oeffnung, wie die Figuren zeigen, noch mit einem dritten Thorpaar, nämlich mit Ebbethoren versehn, die nach innen aufschlugen. Sie hatten die Höhe der hintern Fluththore, und lehnten sich wie diese, wenn sie geschlossen waren, sowol unten, wie oben, gegen Schlagschwellen, die Zwischenräume zwischen dem obern Anschlage und der Brücke blieben jedoch offen, weil theils das Binnenwasser solche Höhe nicht erreicht, theils aber, wenn Dieses etwa bei Deichbrüchen der Fall sein sollte, diese Thore gewifs nicht geschlossen werden durften. Ihre Flügel waren mit Spülthoren versehn, wie Fig. 47, *c* zeigt. Aufserdem hatten diese Ebbethore noch einen andern Zweck, sie sollten nämlich eine zu tiefe Senkung des Binnenwassers verhindern, und diese Rücksicht war vorzugsweise durch die sehr ausgedehnte Binnenschiffahrt geboten. Nichts desto weniger sind sie seit langer Zeit beseitigt, da beim Spülen der Canal-Mündung die viel längere Strecke bis zur dritten Schleuse *C* auch benutzt werden mufste und aufserdem ein höherer Wasserstand im Binnenlande, so oft es nöthig war, immer sehr sicher durch die Schütze in der Schleuse *A* erhalten werden konnte. Auf die doppelten Dammfalze an beiden Enden jeder Oeffnung wird noch aufmerksam gemacht, die zum Abschluss bei vorkommenden Reparaturen dienen.

Die Schleuse *C* endlich ist ein Bauwerk, das sich von einer gewöhnlichen massiven Brücke wenig unterscheidet. Fig. 48, *a* und *b* stellt es in der Ansicht von der Seeseite und im Querdurchschnitt dar. Die Oeffnungen, deren es Anfangs nur drei

hatte, sind 20 Fufs weit, und jede derselben kann durch ein grofses Thor geschlossen werden, das sich stumpf gegen die Brückenpfeiler und den Bogen, und zugleich unten gegen eine hölzerne Schwelle lehnt. Die Mittelpfeiler haben zu diesem Zweck ebene Stirnflächen erhalten, die mit den Bogen bündig sind, nur die Landpfeiler treten wie Fig. 48, *b* zeigt, darüber hervor, doch bildet der Theil zunächst der Oeffnung auch hier noch den nöthigen Anschlag für das Thor. Man schliefst diese Thore, wenn behufs einer beabsichtigten Spülung das Hochwasser der See eingelassen werden soll, und sie verhindern alsdann das Eindringen des Letztern in das dahinter belegene Binnenland.

Neben diese letzte Schleuse wurde noch eine Dampfmaschine gestellt, die zunächst den Zweck hatte, Seewasser auf ein daneben stehendes Gradirwerk zu pumpen, das jedoch nicht mehr existirt. Aufserdem verband man aber hiermit auch noch die Absicht, in der Zeit, wenn die Siele wegen hohen Aufsenwassers nur wenig wirken konnten, das Binnenwasser über die Schleuse *C* hinaus zu fördern, damit es von hier aus theils wegen der etwas gröfsern Höhe und theils weil es den vordern Schleusen näher war, einen schnellern Abschlufs fände. Ob man von diesem gewifs wenig erfolgreichen Mittel jemals Gebrauch gemacht hat, ist nicht bekannt geworden.

Im Vorstehenden ist die ganze Anlage in ihrer ursprünglichen Einrichtung beschrieben. Sie erwies sich sogleich als sehr vortheilhaft und die Entwässerung des Rheinlandes erfolgte viel vollständiger und regelmäfsiger, als vorher, aber dennoch wurden die Erwartungen keineswegs ganz erfüllt und eine nähere Untersuchung zeigte bald manche Mängel. Das Wasser wurde nicht in dem Maafse abgeführt, wie das gewonnene Gefälle dieses erwarten liefs. Die Zuflüsse zum neuen Canal, also der alte Rhein, hatte nicht das erforderliche Profil, und es bildete sich daher schon in ihm ein merkliches Gefälle. Auch im Canal selbst und namentlich beim Durchgange des Wassers durch die drei Schleusen trat derselbe Uebelstand ein. Hierdurch wurde ein grofser Theil des an sich schwachen Gefälles bei der Zuführung schon aufgehoben und die Entwässerung dadurch beeinträchtigt. Die andern Siele, die früher das Wasser aus dem Rheinlande abgeführt hatten, mufsten daher noch fortwährend im

Gebrauch bleiben. Als später die Trockenlegung des Haarlemer Meers beabsichtigt wurde, wobei die ältern Hauptabflüsse für das Rheinland gesperrt werden sollten, stellte sich die Nothwendigkeit zur Verbesserung der Anlage bei Catwijk dringend heraus. Diese ist im Jahre 1841 zur Ausführung gekommen und die in Fig. 45 angegebenen Dimensionen und Anlagen beziehn sich auf den gegenwärtigen Zustand.

Zunächst mufste für eine bessere Zuleitung des Wasser aus dem Binnenlande gesorgt werden, die bisher nur durch den alten Rhein geschah. Zu diesem Zweck wurde ein ganz neuer Canal von 1100 Ruthen Länge ausgeführt. Derselbe hatte bei Poelgeest in demjenigen Canal seinen Anfang, der Leyden mit Haarlem verbindet. Er zieht sich bei Oegstgeest vorbei und tritt bei Catwijk a. d. R. in den alten Rhein. Er ist in dem Horizont von *A P* $127\frac{1}{2}$ Fufs, und in seiner Sohle, die 7 Fufs darunter liegt, 100 Fufs breit. Der alte Rhein blieb ziemlich unverändert, doch ist seine weitere Verbesserung noch in Aussicht genommen. Der aus der Verbindung beider sich bildende Haupt-Entwässerungs-Canal erhielt unter Beibehaltung seiner Tiefe die Breite von 166 Fufs im Horizonte *A P*, und 7 Fufs darunter oder in seiner Sohle 137 Fufs. Die Dossirungen wurden aber über und unter Wasser mit Steinen bedeckt, die sich gegen verschiedene Reihen Flechtzäune lehnen.

Demnächst erhielt die Schleuse *C* noch drei fernere Oeffnungen von derselben lichten Weite, wie die frühern, so dafs ihr Durchflufs-Profil sich verdoppelte. Die Schleuse *B* erhielt dagegen an jeder Seite noch eine mit den drei ältern übereinstimmende Oeffnung. Die Schleuse *A* blieb unverändert, da ihr Umbau oder Neubau theils zu kostbar erschien, und man theils den sehr sichern Schutz, den sie bot, selbst für kürzere Zeit nicht unterbrechen wollte. Die Senkung der verschiedenen Schlagschwellen unterblieb gleichfalls, weil man zu diesem Zweck die vorhandenen Werke vollständig hätte abbrechen müssen, während sie sich noch in gutem Stande befanden. Dagegen konnten die erwähnten Anbaue ausgeführt werden, ohne die Schleusen aufser Thätigkeit zu setzen. Die Rücksicht auf den ununterbrochenen Fortgang der Entwässerung, der selbst für kurze Zeit nicht gestört werden durfte, war bei Auf-

stellung der Projecte für diese Umbaue vorzugsweise maafsgebend gewesen.

Die Erfolge erwiesen sich sehr befriedigend. Die vom Ingenieur Koch angestellten Messungen ergaben nämlich, dafs gegenwärtig im Durchschnitt das Doppelte der frühern Wassermenge abgeführt wird.

Ende des ersten Bandes.

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritter Theil:

Das Meer.

Zweite, neu bearbeitete Auflage.

Zweiter Band mit 12 Kupfertafeln.

Berlin 1880.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Seeufer-

und

Hafen-Bau.

Von

G. Hagen.

Zweiter Band.

Zweite, neu bearbeitete Auflage.

Mit einem Atlas von 12 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1880.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Inhalts-Verzeichnifs

des zweiten Bandes.

Abschnitt III.

Uferbauten.

Abschnitt IV.

Anordnung der Seehäfen.

Abschnitt V.

Die Hafenmündung.

Dritter Abschnitt.

Uferbauten.

§ 20.

Abbrechende Ufer.

Aus der Betrachtung der Erscheinungen am Meere ergab sich bereits, dafs alle Küsten, welche der vollen Einwirkung des Wellenschlags und der Strömung ausgesetzt sind, durch diese angegriffen werden und daher schneller oder langsamer abbrechen und zurückweichen. Indem rings um die grofsen Weltmeere dieser Kampf schon vor undenklicher Zeit begonnen hat, so sind daselbst diejenigen Ufer verschwunden, welche dem Andrange der Fluthen und Wogen unmittelbar ausgesetzt waren, und demselben nicht widerstehn konnten. Nur feste Gebirge setzen hier dem weitern Einbruch Grenzen, und wenn auch diese den zerstörenden Wirkungen sich nicht vollständig entziehn, so erfolgt ihr Abbruch doch so langsam, dafs derselbe nicht sowol aus historischen Ueberlieferungen, als vielmehr nur aus der äufsern Erscheinung der Felsenküsten erkannt wird.

Bei der verschiedenen Gestaltung und Festigkeit der Gebirge springen einzelne Stellen der Ufer weiter vor. Hierdurch bilden sich Vorgebirge oder Uferecken, welche in den zwischenliegenden Strecken bei gewissen Winden den Wellenschlag mäfsigen und zugleich den Küstenstrom, der im Allgemeinen gerade Wege verfolgt, von hier entfernt halten. In beiden Beziehungen geben sie Veranlassung, dafs der vorbeitreibende Sand und Kies in den Buchten zwischen je zwei solcher Felsecken sich ablagert und einen flach gekrümmten Strand bildet.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich auch an kleinern Meeren, wie an der Ostsee und Nordsee, deren jüngerer Ursprung sich dadurch zu erkennen giebt, dafs ihre Ufer noch vielfach aus weichen Gebirgsarten und grofsentheils sogar aus

aufgeschwemmtem Boden bestehn. In ihnen sind die vortretenden Ecken in viel höherm Grade, als in den grofsen Meeren, der Zerstörung ausgesetzt, und in gleichem Maafse, wie sie abbrechen, zieht sich auch der dazwischen liegende Strand zurück.

Sowol in Pommern, als in Ost-Preufsen bemerkt man in Zwischenzeiten von wenigen Jahren und oft schon nach einem einzigen stürmischen Winter sehr auffallende Veränderungen in den steilen Ufern, die unmittelbar an der offenen See liegen. Bei einer Nachmessung des Dienstlandes der Feuerwärter in Brüsterort fand ich einst, dafs an dieser Stelle, die allerdings dem Angriff besonders stark ausgesetzt ist, während einiger Jahrzehnte der Uferrand durchschnittlich in jedem Jahr um eine halbe Ruthe abgebrochen war. Eben so zeigt sich vielfach sehr deutlich das Zurückweichen des niedrigen Seestrandes an der Preufsischen Küste. Bei ruhiger und klarer See sieht man unter Wasser die Wurzeln von starken Bäumen, die sämmtlich ihre natürliche Stellung behalten haben, also nicht angeschwommen, sondern hier gewachsen sind in einer Zeit, als diese Flächen noch festes Land oder ein höheres Moor oder Torflager bildeten, das beim Verrotten der vegetabilischen Substanzen, und vorzugsweise unter dem Druck der Dünen, die es später bedeckten, bis unter den Meeresspiegel herabsank.

Wie bereits § 10 erwähnt wurde, deuten auch verschiedene Erscheinungen darauf hin, dafs manche Ufer im Lauf der Zeit sich abwechselnd gehoben und gesenkt haben.

Anders gestalten sich die Verhältnisse in Meeresbuchten, die weit zurücktreten, oder an Ufern, die im Schutz von Inseln und ausgedehnten Untiefen liegen, wie solche vor den Strommündungen sich oft bilden. Hier bemerkt man im Allgemeinen keinen Abbruch, vielmehr zeigen sich daselbst oft starke Verlandungen, wie bei Gelegenheit der Seemarschen (§ 15) schon erwähnt ist. Es mufs indessen darauf aufmerksam gemacht werden, dafs diese Erscheinung nicht dauernd eintritt, dafs vielmehr langsame, aber doch unverkennbare Veränderungen sich hier vorbereiten, die später wieder die Zerstörung der jetzt entstehenden fruchtbaren Fluren in Aussicht stellen. Die Inseln, die gegenwärtig diese günstigen Verhältnisse veranlassen, sind nämlich einem starken Angriff ausgesetzt.

Besonders auffallend sind die seit 50 Jahren auf der Insel **Wangeroog** eingetretenen Zerstörungen. Nachdem der alte Leuchtthurm daselbst schon 1825 von den Wellen erreicht und in eine Ruine verwandelt war, wurde 1830 weiter landeinwärts ein neuer erbaut. Doch auch dieser mufste schon 1856, da das Vorland verschwunden und die daneben befindliche Wärter-Wohnung von den Wellen zerschlagen war, durch einen neuen ersetzt werden, den man weiter ostwärts verlegte, wo das Ufer weniger angegriffen ward. Die alte thurmähnliche und mit sehr starken Mauern versehene Kirche, deren unterer, überwölbter Raum ein grofses Magazin bildet, worin vielleicht in früherer Zeit die Beute der Seeräuberei aufbewahrt wurde, sah ich 1853 noch im Schutz einer Düne liegen, jetzt wird sie schon bei jeder Fluth umspült, und mufs durch eine kostbare Umfassung von Faschinen und Steinen gehalten werden, da sie ein wichtiges Seezeichen bildet. Das Dorf Wangeroog, vor 20 Jahren noch ein bedeutender Badeort, existirt nicht mehr. Nach mehreren Einbrüchen der See sind die Einwohner theils mit Unterstützung der Oldenburgischen Regierung nach dem festen Lande übergesiedelt und theils haben sie sich in der Nähe des neuen Leuchtthurms angebaut*). In der Zeit von 1836 bis 1853 wich das Ufer durchschnittlich in jedem Jahr 85 Fufs zurück und später scheint der Abbruch noch stärker geworden zu sein.

Auf **Norderney** sind zum Schutz des dortigen Seebades sehr bedeutende Uferdeckungen und Einbaue zur Ausführung gekommen. Die dauernde Unterhaltung derselben wird voraussichtlich grofse Geldmittel erfordern, indem eine heftige Strömung die Werke trifft. Sollte aber diese Insel, so wie die ganze Inselkette einst verschwinden, so würden die reichen Niederungen, die gegenwärtig noch in ihrem Schutz liegen, dem vollen Angriff der See ausgesetzt, und schwer zu erhalten sein.

Wenn man indessen von solchen Gefahren auch absieht, die erst in der spätesten Zukunft drohn, so dürfte doch der sehr bedeutende **Landverlust**, der an unsern Küsten in jedem Jahr

---

*) Wangeroog und seine Seezeichen von Carius in der Zeitschrift des Architecten- und Ingenieurvereins in Hannover. Band XIII. 1867. Seite 157.

eintritt, die Sicherstellung der Ufer fordern. Die Kosten der Deckung sind freilich so bedeutend, dafs der Abbruch während einiger Jahre dieselbe nicht rechtfertigt, und dieses Mifsverhältnifs stellt sich noch um so gröfser heraus, als der Uferrand, der zunächst bedroht wird, gemeinhin wenig Werth hat. Er pflegt mit Sand bedeckt zu sein und gar keinen oder nur einen geringen Ertrag zu geben. Wenn Waldungen sich bis an die See hinziehn, zeigen die vordern Bäume nur selten einen kräftigen Wuchs. Ihre Stämme überziehn sich, besonders vor den westlichen Ufern, mit starkem Moos, und das Holz ist mit Rissen durchzogen, indem der Wind grofse und kleine Aeste abbricht. Gesunde Bäume findet man erst in einiger Entfernung vom Ufer, also an Stellen, die noch nicht bedroht sind. Wenn aber der vordere Rand mit der krankhaften Vegetation nicht erhalten wird, so setzt man die folgenden gesunden Stämme denselben nachtheiligen Einflüssen aus, und sonach trifft der Verlust beim Abbruch des Ufers jedesmal den werthvollen dahinter liegenden Boden.

Diese Ufer-Abbrüche, die sich an unsrer Küste vielfach in Strecken von mehreren Meilen Länge hinziehn, treffen gemeinhin Privatbesitzer, die zu einem kräftigen Schutz sich nicht leicht entschliefsen, meist auch die dazu erforderlichen Kosten nicht aufbringen können. Gröfsere Forsten, die sich bis an den Uferrand hinziehn, versucht man freilich hin und wieder dadurch zu schützen, dafs man die steilen Ufer abflacht und mit Dünengras bepflanzt. Dieses Mittel hat sich indessen wohl immer als ungenügend erwiesen, weil man ohne übermäfsige Kosten und ohne sehr grofsen Landverlust diejenige flache Böschung nicht darstellen kann, auf welche die Welle sanft auf- und abläuft (§ 6). Es bilden sich daher sehr bald in dieser künstlichen Dossirung stufenförmige Absätze, die von jeder Welle getroffen, und von denen immer neue Sandmassen abgespült und fortgetrieben werden. Vor manchen Ufern sind Anlagen dieser Art mehrfach wiederholt worden, es bleibt aber zweifelhaft, ob der Abbruch derselben und das weitere Vordringen der See hierdurch nicht sogar befördert ist, insofern der zum Theil benarbte und mit Wurzeln durchzogne Boden noch mehr Widerstand geleistet haben würde, als die lockere künstliche Böschung. Die Böschungen wurden, wie ich mehrfach sah, immer in der kürzesten Zeit zerstört,

und wo man die Abgrabung begonnen hatte, bildete sich bald ein eben so steiler Uferrand, wie er früher weiter seewärts gewesen war.

Will man das Meeres-Ufer in angemessner Weise schützen, so mufs bei der Deckung gröfserer Küsten-Strecken von allen Vortheilen sorgfältig Gebrauch gemacht werden, welche die örtlichen Verhältnisse bieten. Die vortretenden Uferecken, welche den zwischenliegenden Strecken einigen Schutz gewähren, müssen vorzugsweise gesichert und erhalten werden. Gelingt dieses, so bietet die Deckung der dazwischenliegenden Ufer weniger Schwierigkeit und durch methodischen Dünenbau gelingt es hier sogar zuweilen, den Strand langsam seewärts auszudehnen. Wo Hafendämme in die See treten, bilden dieselben schon solche vorspringende Uferecken, und auf derjenigen Seite, welche der Küstenströmung zugekehrt ist, lagern sich fast jedesmal ausgedehnte Sandfelder vor dem frühern Ufer ab, oder die künstlich erzeugten Buchten füllen sich von selbst an. Bei natürlichen Uferecken, die meist nur in geringerem Maafse vortreten, sind die Erfolge im Allgemeinen weniger auffallend und fehlen oft ganz, so dafs auch die zwischenliegenden Strecken abbrechen. Durch Anwendung geeigneter Mittel läfst sich indessen auch dieses verhindern.

Die Zerstörungen, welche der Wellenschlag am aufgeschwemmten Boden, so wie auch an klüftigem und weichem Gestein ausübt, rühren nicht nur vom Stofs oder der unmittelbaren mechanischen Einwirkung, sondern auch von dem steten Wechsel des Wasserspiegels her. Sobald eine Welle das Ufer trifft, so dringt bis zur Höhe ihres Scheitels das Wasser in alle Zwischenräume und Oeffnungen des Bodens ein und gleich darauf fliefst es wieder zurück. Letzteres geschieht theils über und unmittelbar unter der Oberfläche, theils aber auch im Innern, und in beiden Fällen führt das Wasser die feinen Theilchen, die sich lösen und nicht etwa wegen zu grofser Dimensionen zurückgehalten werden, mit sich fort. Im Innern stellt sich aber eine ununterbrochene, seewärts gerichtete Strömung ein, welche zur Auflockerung des Bodens und sonach auch zum Einstürzen desselben wesentlich beiträgt. Der reine Sand lagert sich freilich bei solcher Durchströmung sehr fest ab, doch geschieht dieses

nur, wenn er eine horizontale oder wenigstens eine sehr flache Oberfläche hat. Ist er dagegen steil geböscht, wie dieses bei abbrechenden Ufern jedesmal der Fall ist, so fliefst das eingedrungene Wasser seitwärts heraus und die äufsere Schicht verliert dadurch ihre Unterstützung, und folgt dem Wasser.

Besonders nachtheilig ist es, wenn Thon- und Sandschichten abwechselnd über einander liegen, wie dieses an der Preufsischen Ostsee-Küste vielfach vorkommt. Soweit die Wellen heraufreichen, spülen sie die Sandlager aus und der darauf ruhende Thon stürzt alsdann herab. Diese verschiedenartige Schichtung veranlafst auch noch in andrer Weise den Einsturz steiler Ufer. Die vom atmosphärischen Niederschlag gespeisten Quellen folgen nämlich den Sandschichten und zerstören diese besonders leicht, wenn sie seewärts geneigt sind, sie wirken also in den obern Theilen des Uferrandes in derselben Art, wie die Wellen es unten thun. Sie veranlassen häufig Abrutschungen von vielen Quadratruthen Oberfläche, und nicht nur der Rasen, sondern auch Gebüsche und selbst grofse Bäume gleiten mit den Erdmassen zugleich herab und bilden oft vor den hohen Ufern Terrassen, die einige Zeit hindurch mit üppiger Vegetation bedeckt sind.

Sobald die auf solche Art gelöste Masse auf den niedrigen Strand herabstürzt, so bildet sie hier einen Schuttkegel, der zwar Anfangs den Fufs des steilen Ufers bedeckt und denselben vor dem Angriff der Wellen sichert, aber dieser Schutz verschwindet in der kürzesten Zeit. Die Wellen stofsen die gelockerte Masse hin und her und spülen dabei die feineren Theile heraus. Gröfsere Thonklumpen und eben so auch Kreide zerfallen bald, und nur Sand, Kies und grobes Geschiebe bleiben zurück. Der Sand und Kies wird aber von den Wellen auf- und abgeworfen und folgt der Richtung des Küstenstroms, so dafs er gleichfalls an dieser Stelle verschwindet. Endlich gewähren aber auch die herabgestürzten Granitgeschiebe, selbst wenn sie sehr grofse Dimensionen haben, keinen dauernden Schutz dem Ufer. Sie können freilich weder fortgetrieben, noch auch zerstückelt werden, aber der stets wechselnde und vorübergehend sehr starke hydrostatische Druck, den die Wellen dagegen ausüben, und die dadurch veranlafsten Strömungen neben diesen Steinen treiben unter ihnen den Sand und Kies fort, so dafs sie nach und nach versinken.

Dieses geschieht so lange, als sie den anlaufenden Wellen und dem zurückfliefsenden Wasser noch einen merklichen Widerstand entgegensetzen, also so lange sie noch vor der Sand- oder Kiesböschung über Wasser vorragen. Doch auch unter Wasser versinken sie mit der Zeit immer tiefer, wenn der Untergrund sich vertieft.

In dieser Weise weichen die hohen, aus aufgeschwemmtem Boden bestehenden Ufer, wo sie an die offne See treten, unaufhaltsam zurück, und die natürlichen flachen Böschungen, die sich vorübergehend bei ihrem Einsturz aus dem verschiedensten Material vor ihnen bilden, verhindern eben so wenig, wie die künstlich durch Abgrabung dargestellten Dossirungen, ihre Zerstörung. Die erwähnten Erscheinungen wiederholen sich vielfach an der Preufsischen Ostsee-Küste. Man bemerkt sie auf der Insel Rügen, wie auch an andern Stellen der Provinz Pommern, und besonders im Samlande längs des ganzen Ufers von der Frischen bis zur Kurischen Nehrung. Vorzugsweise ist die nach Westen gekehrte 5 Meilen lange Strecke von Pillau bis Brüsterort einem starken Angriff ausgesetzt.

Auch das Eis wirkt in der Ostsee zerstörend. Bei strenger Kälte gefriert die See mehrere Meilen weit rings um die umgebenden Ufer. So konnte man im Anfange des Jahrs 1828 von dem Pillauer Leuchtthurme (90 Fufs über dem Meeresspiegel) bei klarer Luft und mit guten Fernröhren kein offnes Wasser sehn. Wenn diese Decke bei Stürmen zerbricht und die mächtigen Schollen von den Wellen gegen das Ufer gestofsen werden, so erfolgen viel stärkere Abstürzungen und Einbrüche, als sonst. Grofse Eistafeln werden oft in die Dünen und in andre Ufer tief hineingeschoben. Bei dieser Gelegenheit werden auch Granitblöcke, die eingefroren waren, gehoben und weit versetzt. In den Fischerdörfern am östlichen Ufer von Rügen zeigen die Einwohner verschiedene grofse Steine am Strande, die in den nächst vorhergehenden Wintern mit dem Eise angeschwommen sind.

Um hohe Ufer in den am weitesten vortretenden Punkten zu sichern, mufs man zunächst die Annäherung der grofsen Tiefe und mit derselben die Verstärkung des Küstenstroms verhindern. Hierzu dienen buhnenartige Einbaue, die man in das Meer hinausführt. Dieselben müssen fest construirt sein, damit

sie dem Andrange der Wellen und des Eises widerstehn. Bei gehöriger Länge und wenn Sand und Kies reichlich vorbeitreibt, oder wenn ausgedehnte Untiefen davor liegen, bilden sich an ihren Wurzeln bald Ablagerungen und der Strand nimmt an Breite, zuweilen auch an Höhe merklich zu, so dafs die Wellen das Ufer nicht mehr erreichen. An manchen und namentlich an den am meisten bedrohten Punkten lagert sich jedoch der Sand nur bei gewissen Winden ab, während er bei andern wieder fortgespült wird. Wenn der Boden aber etwa aus Thon oder Lehm, oder vielleicht aus dem an der Ostsee vielfach vorkommenden Seetorf besteht, so muss man versuchen, eine dauernde Ueberdeckung mit Sand zu veranlassen, weil ohne diese der Boden, wenn er auch flach geböscht ist, doch bei jedem Wellenschlag immer abgeschält und dadurch zerstört wird. Wenn es hierdurch gelingt, einen flachen sandigen Strand vor dem steilen Uferrand zu erzeugen und zu erhalten, zugleich aber auch die zunehmende Vertiefung vor den Buhnenköpfen zu verhindern, so ist dennoch das hohe Ufer noch nicht gegen weitern Abbruch gesichert. Es nimmt nach und nach eine flachere Dossirung an, indem namentlich das von oben her eindringende Regenwasser Quellen bildet, die den Abbruch veranlassen. Durch Bepflanzung mit geeigneten Sträuchern kann man indessen ziemlich steile Böschungen dauernd erhalten, sofern ihr Fufs gesichert ist.

Die erwähnten Uferdeckungen wird man wegen der grofsen Kosten, die sie verursachen, jedesmal auf das geringste Maafs beschränken, doch darf man nicht etwa einzelne isolirte Einbaue ausführen, weil dieselben leicht durchbrochen werden und alsdann zwischen ihnen und dem Ufer tiefe Rinnen sich bilden, wodurch die ganze Anlage leicht zerstört werden kann. Dieser Uferschutz mufs daher jedesmal sich auf einige hundert Ruthen ausdehnen.

In vielen Fällen ist diese Sicherung einzelner Uferstellen entbehrlich, weil der Strand schon an sich eine einspringende Curve bildet. Dieses ist z. B. an der Frischen Nehrung der Fall, deren seeseitiges Ufer von der neuen Mündung der Weichsel bis zu den Molen vor Pillau sehr nahe einen Quadrant von 8 Meilen Radius beschreibt. Hier stellt sich die flache Bucht, welche die Richtung des Strandes im Allgemeinen bezeichnet, schon von

selbst dar, und es ist nicht mehr erforderlich, einzelne Punkte darin durch besondere Schutzmittel zu befestigen. Wo die Küste sich mehr in gerader Richtung hinzieht, wie etwa in Hinter-Pommern, wird man die Festpunkte vorsichtig aussuchen müssen, damit der fernere Abbruch sich auf das Minimum beschränkt, und zugleich die Kosten der Deckung sich nicht zu hoch stellen. Man wird aber diejenigen Punkte wählen, die schon an sich am weitesten in das Meer vortreten, die also aus festerem Boden bestehn. Hierbei tritt noch der wesentliche Vortheil ein, dafs gerade an diesen Uferstellen auch die meisten Granitgeschiebe vorzukommen pflegen, wodurch die Deckung sich erleichtert. Selbst die davor liegenden Steine, die bereits unter den Wasserspiegel herabgesunken sind, können noch vortheilhaft zu diesen Bauten benutzt werden. Sie werden aber in ihrer Lage gesichert und vor weiterem Versinken geschützt, wenn sie zu gröfsern Werken verbunden werden.

In den Intervallen zwischen je zweien solcher vortretenden und befestigten Eckpunkte zieht sich das Ufer in einer regelmäfsigen und meist schwachen Krümmung landeinwärts zurück. Gemeinhin besteht dasselbe aus einer Sand- oder Kies-Ablagerung. Wenn dagegen noch abbrüchige Thonufer darin vorkommen, so treten diese im Laufe der Zeit weiter zurück, und vor ihnen lagern sich wenigstens zeitweise Sandmassen ab. In beiden Fällen kommt hier der eigentliche Dünenbau in Anwendung, der die Bildung eines dauernden Strandes bezweckt.

Es ist bereits mitgetheilt, dafs mit Ausnahme solcher Felsufer, die eine grofse Tiefe vor sich haben, Kies- oder Sandmassen vor den Ufern treiben, die vom Wellenschlage in Bewegung gesetzt, der Richtung des Stroms oder der Wellen folgen. Vor flachen Ufern werden sie nicht in die Tiefe herabgezogen, sie bleiben vielmehr in solcher Höhe, dafs sie vom starken Wellenschlage wieder getroffen und auf das Ufer geworfen werden. Sehr grofse Massen dieses Sandes liegen vor den Ostsee-Küsten und vermehren sich durch den fortdauernden Abbruch der Ufer. Sie sind theils den Hafen-Mündungen sehr gefährlich, die sie bei starken Stürmen sperren, wenn keine kräftige Ausströmung dieses verhindert, theils aber fliegen sie auch weit landeinwärts und überdecken Aecker und Wiesen, denen sie die Ertragfähigkeit

nehmen und die sie oft in werthloses Terrain verwandeln. Dieser aufgewehte Sand lagert sich indessen keineswegs gleichmäfsig ab, er bildet vielmehr, durch zufällige Umstände veranlafst, Hügel, die sich oft bis 50 und selbst 100 Fufs erheben und durch tiefe Thäler von einander getrennt sind. Jede Cultur wird hier um so zweifelhafter, als diese Hügel keinen Bestand haben und durch zufällige Umstände bei starkem Wind leicht forttreiben und an einer andern Stelle sich aufbauen. Diese Hügel, die in langen Reihen neben einander, und oft auch mehrfach hinter einander liegen, nennt man Dünen. Die eigenthümlichen Erscheinungen, die sie zeigen, werden später beschrieben werden, da sie beim Dünenbau nicht unbeachtet bleiben dürfen.

Der Dünenbau zerfällt in zwei wesentlich verschiedene Theile. Einmal und zwar in den meisten Fällen versteht man darunter die Cultur der Dünen, also vorzugsweise ihre Bepflanzung mit Bäumen. Wenn man, wie gewöhnlich geschieht, sich hierauf allein beschränkt, so erreicht man allerdings zuweilen sehr augenfällige Erfolge, aber in dieser Weise wird das Uebel nicht in seiner Wurzel beseitigt und die Bemühungen erweisen sich oft als ganz vergeblich und müssen periodisch immer von Neuem wieder aufgenommen werden. Will man das Land gegen den Flugsand sicher stellen und die Culturen im Innern vor neuen Verwüstungen schützen, so kommt es zunächst darauf an, das Forttreiben des von der See aufgeworfenen oder durch die Strömung herbeigeführten Sandes vollständig zu verhindern. Diese letzte Absicht steht in der innigsten Verbindung mit derjenigen, welche sich auf die Sicherung des Ufers vor neuen Abbrüchen bezieht. Derselbe Sand, der im Binnenlande so verderblich ist, gewährt einen wesentlichen Schutz dem Ufer, wenn er auf demselben aufgefangen und sicher abgelagert wird. Die hierzu geeigneten Vorkehrungen zu treffen, ist die zweite und unbedingt die Hauptaufgabe des Dünenbaus. Diese fällt ganz in das Gebiet des Wasserbaus. Sie ist von der äufsersten Wichtigkeit, insofern sie dahin gerichtet ist, den weitern Abbruch der Ufer zu verhindern, und diese sogar dem Angriff der Wellen ganz zu entziehn. Aufserdem werden hierdurch auch die Mündungen der Häfen in hohem Grade vor Versandungen geschützt, und endlich gewinnen nur hierdurch die Forst-Culturen auf den innern Dünen einen geregelten und dauern-

den Fortgang. Den glänzendsten Erfolg, den man in der letzten Beziehung erreicht hat, findet man gerade auf denjenigen Uferstrecken, wo mit der gröfsten Sorgfalt eine regelmäfsig und ununterbrochen fortlaufende Vordüne am Strand gebildet ist, die in ihrer Graspflanzung die antreibenden Sandmassen immer auffängt, und dadurch mit mäfsiger Nachhülfe sich dauernd verbreitet und erhöht. Vielfach betrachtet man den Dünenbau als gar nicht zum Wasserbau gehörig, er steht aber mit diesem in der innigsten Beziehung, und für einen grofsen Theil der Küsten der Ostsee, so wie auch andrer Meere, bildet er sogar den wichtigsten Abschnitt in dem Seeufer-Bau.

Endlich giebt es noch andre Arten von Ufer-Befestigungen, die zwar am offnen Meere nicht leicht vorkommen, die aber an Strom-Mündungen und Meerbusen und solchen Ufern, wo ausgedehnte Untiefen oder Inseln davor liegen, sich vielfach wiederholen. Sie bezwecken grofsentheils den Schutz eines niedrigen Terrains und gewöhnlich den des Marschbodens. Sie schliefsen sich daher unmittelbar an diejenigen Bauten an, welche bei Gelegenheit der Seedeiche bereits behandelt sind. Es soll mit ihrer Beschreibung der Anfang gemacht und zugleich derjenigen ähnlichen Anlagen erwähnt werden, die man zur Sicherung andrer, besonders wichtiger Uferstellen zur Ausführung gebracht hat.

§ 21.

Uferdeckungen.

Um ein abbrechendes Ufer gegen fernere Zerstörungen zu sichern, wird dasselbe soweit, als die Wellen es angreifen, mit einer Decke versehn, die sowol dem Stofs widersteht, als auch durch das eindringende Wasser keine Unterspülung besorgen läfst. Dieselbe bleibt dauernd dem Angriff der Wellen ausgesetzt, da Verlandungen davor nicht zu erfolgen pflegen. Sie mufs daher solid ausgeführt werden, wenn man der stets wiederholten Reparaturen und Erneuerungen überhoben sein will. Vertiefungen pflegen davor nicht einzutreten, wenn sie allein dem Wellenschlag

ausgesetzt ist. Wenn sie dagegen von einem starken Küstenstrom getroffen wird, und zu besorgen ist, dafs dieser den davor liegenden Strand abbrechen und sie später treffen könnte, so pflegt man Einbaue oder Buhnen vor sie vortreten zu lassen, wodurch der Angriff auf die Köpfe von diesen übertragen wird. Hiervon wird im Folgenden die Rede sein. Die eigentliche Uferdeckung bezweckt vorzugsweise den Schutz gegen Wellenschlag, und die Methoden, wodurch dieser dargestellt wird, sind nach den verschiedenen Local-Verhältnissen wesentlich verschieden. Namentlich ist die Wahl der Constructionsart davon abhängig, ob Fluth und Ebbe statt findet, ob eine grofse Tiefe vor dem zu deckenden Ufer liegt, und ob der Boden aus festerem Gebirge, oder nur aus Sand oder Thon besteht.

Am häufigsten wiederholt sich der Fall, der an der Deutschen Nordsee-Küste vielfach vorkommt, dafs nämlich die zu schützenden Niederungen aus fruchtbarem und zähem Kleiboden bestehn, und ausgedehnte Sandbänke oder Watte davor liegen, auch wohl ganze Inselreihen den Wellenschlag wesentlich mäfsigen und sogar die Annäherung eines starken Stroms verhindern. Diese Umstände sind ohne Zweifel überaus günstig, und erleichtern wesentlich die Ausführung, nichts desto weniger pflegt man selbst diesen leichten Kampf nur zu beginnen, wenn irgend ein Punkt oder eine Uferstrecke bedroht wird, die für die Sicherung eines gröfsern Landstrichs oder eines bedeutenden Orts von Wichtigkeit ist. Gemeinhin handelt es sich hiebei um die Erhaltung eines Deichs, dessen Vorland oder Aufsendeich man nicht dem Abbruch Preis geben darf, ohne den Deich selbst der augenscheinlichsten Gefahr, und bei seinem Bruch die ganze durch ihn geschützte Niederung der Ueberschwemmung auszusetzen. Die Sicherung des Vorlandes ist daher keineswegs allein für den Eigenthümer desselben von Wichtigkeit, sondern der ganze Deichverband ist dabei betheiligt.

Die Marschen an der Deutschen und Niederländischen Küste bis zum Helder, oder der nördlichen Spitze der Provinz Holland, haben keinen eigentlichen Strand und keine Dünen vor sich, sie leiden daher auch nicht von dem Sandfluge, wie die offnen Meeresküsten und die davor liegenden Inseln. Sie bilden niedrige Ufer, die sich meist nur wenig über die gewöhnliche Fluth erheben, aber durch davor liegende Watte, die bei

jeder Ebbe trocken werden, gegen Grundbruch gesichert sind. Wenn Letzteres nicht geschieht, und vielmehr eine tiefe Stromrinne dem Ufer sich nähert, wird die Anlage von Buhnen nothwendig. Nichts desto weniger ersetzen diese noch keineswegs die Uferdeckung, oder machen dieselbe entbehrlich, wenn nicht etwa durch Bildung von Vordünen der nöthige Schutz dargestellt werden kann. Zwischen den Buhnen und unmittelbar neben denselben verstärkt sich sogar oft der Angriff der Wellen, indem sie beim Einlaufen in diese sich verengenden Buchten höher anschwellen.

Bei Bestimmung der Linie, in welche man die Uferdeckung legen soll, wird man eben so wenig, wie bei der Anlage von Seedeichen durch die Rücksicht auf Erhaltung der nöthigen Profilweite beschränkt. Wenn jedoch die Mündung eines Stroms oder eines weit ausgedehnten Busens sehr beengt sein sollte, würde man selbst bei diesen Ufer-Einfassungen hierauf Rücksicht nehmen müssen. Andre Umstände sind dagegen von so überwiegender Wichtigkeit, dafs man gemeinhin sich nur innerhalb sehr beschränkter Grenzen bewegen kann. Einerseits kommt es darauf an, das vorhandene Vorland möglichst vollständig zu erhalten, und andrerseits fehlt es an der nöthigen Erde, um das Ufer künstlich herausrücken zu können. In den Marschen finden sich keine Hügel und sonstige Erhöhungen, die man abgraben könnte, und wenn man auch nur eine mäfsige Erniedrigung des Bodens vornimmt, stört man schon die Entwässerung oder setzt die Fläche in höherm Grade der Inundation aus und beeinträchtigt dadurch ihre Benutzung. Die Aushebung tiefer Pütten hinter einem Ufer, das der künstlichen Deckung bedarf, also schon dem Angriff ausgesetzt ist, würde gleichfalls gefährlich sein, und eben so bedenklich wäre es, in diesem Fall das davor liegende Watt durch Abgrabung noch zu erniedrigen. Aber selbst hiervon abgesehn, müfste man schon wegen der grofsen Kosten Anstand nehmen, ausgedehnte Flächen vor solchem Ufer durch Anschüttung frischer Erde zu erhöhen.

Hiernach mufs man sich darauf beschränken, das bestehende Ufer zu decken, indem man weder vor dasselbe weit vortritt, noch auch dahinter merklich zurückbleibt. Die Aufgabe besteht also nur darin, die Unregelmäfsigkeiten des Ufers auszugleichen,

und für dasselbe eine möglichst gleichmäfsige Linie zu wählen. Wollte man alle kleinern Buchten und vorstehenden Ecken beibehalten, so würde theils die Länge des Deckwerks und sonach auch die Kosten desselben ansehnlich vergröfsert werden, theils aber gäbe man hierdurch auch Veranlassung zur Verstärkung des Angriffs, also auch zur Erschwerung der Unterhaltung des Werks. Die vortretenden Ecken sind vorzugsweise einem heftigen Angriff durch die Wellen ausgesetzt, indem sie bei gewissen Windrichtungen mit gröfserer Kraft getroffen werden, während in den geraden Uferstrecken die Wellen nur bei einer Richtung besonders heftig aufschlagen. Aufserdem verstärkt sich aber auch in dem Scheitel einer einspringenden Bucht der Wellenschlag, und sonach ist selbst die Bildung scharfer Buchten für die Erhaltung des Ufers nachtheilig. Dazu kommt noch der Uebelstand, dafs die Stromrinnen zwischen den Watten eben so wie in den oberländischen Strömen, zum Serpentiniren geneigt sind, und in den Krümmungen die concaven Ufer angreifen.

Hiernach begründet sich die Regel, die Uferlinien am Meere möglichst gerade zu halten, und sie in sanften Krümmungen in andre Richtungen überzuführen, wenn das Ufer entschieden solche annimmt. Man mufs aber die Linie so legen, dafs die kleinern abgeschnittenen Buchten und die vorspringenden Ecken sich möglichst ausgleichen, und mit der von den letztern gewonnenen Erde die erstern ausgefüllt werden können.

Steile Böschungen giebt man allerdings zuweilen den Ufern, wenn ihre Zurücklegung unmöglich ist. Dieser Fall kommt in den Niederlanden wiederholentlich vor, namentlich wenn der Aufsendeich schon vollständig verschwunden, und das Ufer bis an den Fufs des Deichs bereits abgebrochen ist, oder letzterer seine äufsere Böschung ganz verloren hat. Von den Mitteln, die man in diesem Fall anwendet, ist früher (§ 17) die Rede gewesen.

In der Regel, und wenn es irgend geschehn kann, giebt man dem Ufer und sonach auch dem Deckwerk eine flache Böschung wenigstens mit dreifacher Anlage, doch ist es vortheilhafter, letztere selbst bei gutem Boden vierfach oder fünffach zu machen, weil sie sich alsdann besser hält. Sie mufs aber bis zu dem Watt herabreichen, und wenn dieses nicht möglich sein sollte, in ihrem Fufs noch besonders gesichert werden.

Andrerseits erhebt sie sich wenigstens bis zum Maifelde oder bis zur Oberfläche des berasten Bodens.

Die Deckung des Ufers mit Strauch kommt zuweilen vor, doch ist eine solche meist sehr theuer, weil das Strauch auf den mit Seewasser getränkten Watten nicht wächst, also aus der Ferne beigeschafft werden mufs, überdiefs ist dasselbe bei der abwechselnden Benetzung auch wenig dauerhaft, und endlich gewährt es nicht hinreichenden Schutz, wenn es nicht in sehr starken Lagen aufgebracht wird. Beim Aufschlagen der Wellen dringt nämlich das Wasser zwischen den einzelnen Reisern hindurch, und greift den Untergrund an, woher bald einzelne Stellen versinken und die Deckung zerstört wird. Man pflegt daher das Strauch zur Uferdeckung nur selten und, wie bei Sicherstellung schadhafter Deiche, nur in dem Fall anzuwenden, wenn es sich um augenblickliche Vertheidigung eines hart bedrohten Ufers handelt, und man kein andres Material beischaffen kann. In ähnlicher Weise sind zuweilen auch Verkleidungen der Ufer mit Dielen versucht worden, die aber noch weniger ihren Zweck erfüllen. Die Anwendung des Strauchs als Unterlage für Steinrevetements kommt dagegen häufig vor, und bei der geschützten Lage, die es in diesem Fall annimmt, zeigt es sich auch dauerhafter. Da jedoch hierbei vorzugsweise die Steine zur Deckung des Ufers dienen, so wird die betreffende Construction später beschrieben werden.

Die flachere oder steilere Dossirung, welche den Aufsendeich gegen das Meer begrenzt, ist, soweit sie von den Wellen getroffen wird, oft ganz kahl, und weder Strauch, noch auch Gras oder andre Pflanzen wachsen darauf. Der starke Salzgehalt des Seewassers und die vielfache Benetzung verhindern das Aufkommen des Weidenstrauchs und andrer Gebüsche, während die auflaufenden Wellen die Bildung des Rasens unmöglich machen. Auf den beinahe horizontalen Oberflächen der Watte sieht man freilich verschiedene Kräuter, und eben so findet man auch am Fufs der Dünen vor einem Sandufer gewisse Strandgräser. Der stark geneigte Rand, von dem hier die Rede ist, und auf dessen Erhaltung es ankommt, überzieht sich indessen nicht mit einer Vegetation, und zu seiner Deckung können daher künstliche Bepflanzungen nicht benutzt werden, die zur Erhaltung und Ausbildung der Flufsufer von so wesentlichem Nutzen sind.

Die einfachste und wohlfeilste Art der Deckung solcher Uferränder, die aber freilich auch sehr vergänglich ist, besteht in einer Bekleidung mit Stroh, oder in der Stroh-Bestickung. Fig. 49 auf Taf. X zeigt dieselbe, sowol in der Ansicht von oben (*a*), als auch im Längendurchschnitt (*b*). Man überdeckt das Ufer, soweit es gesichert werden soll, nachdem es geebnet und etwa mit dreifacher Anlage abgeböscht ist, mit Stroh. Die sämmtlichen Halme sind unter sich parallel und normal gegen die Richtung des Ufers gekehrt, so dafs sie in derjenigen Richtung liegen, welche der stärksten Neigung entspricht. Das Stroh wird möglichst regelmässig verbreitet, so dass es überall gleiche Stärke hat, auch die Stöfse gehörig abwechseln. Die einzelnen Bunde Stroh müssen, nachdem sie gelöst und ausgebreitet sind, sowol nach oben, als nach unten verschoben werden, damit die Enden der Halme gehörig in einander eingreifen, und nicht etwa getrennte Streifen entstehn, zwischen welchen der Erdboden unbedeckt bleibt. Die Stärke dieser Lage braucht nicht gröfser zu sein, als dafs sie nur so eben die Fläche vollständig deckt, wenn sie durch die Strohseile fest angedrückt wird. Man begnügt sich daher, ihr solche Dicke zu geben, dafs das Stroh, so lange es lose liegt, durchschnittlich etwa 1 Zoll hoch ist. Kann man Heidekraut oder andre werthlose Stoffe in der Nähe gewinnen, so pflegt man auch mit solchen die Böschung zuerst zu überdecken, und alsdann eine schwächere Strohlage darüber auszubreiten. Die letztere läfst sich in diesem Fall auch durch Rohr ersetzen, und oft begnügt man sich damit, eine Lage Rohr allein anzuwenden, doch mufs dieselbe alsdann etwas stärker, als die Strohlage sein, weil die einzelnen Halme dicker und steifer sind, also gröfsere Zwischenräume offen lassen, durch welche das Wasser den darunter befindlichen Boden angreifen könnte.

Die Bestickung geschieht durch Strohseile, die ohne weitere Vorrichtung auf der Baustelle aus freier Hand nicht geflochten, sondern nur gedreht werden. Bei ihrer Anfertigung kommt es vorzugsweise darauf an, dafs die Enden der Halme gut verstofsen sind. Ein zu starkes Winden ist nicht vortheilhaft, weil alsdann das Seil in den scharfen Biegungen, die es machen mufs, leicht bricht oder reifst. Die Dicke des Seils mifst gewöhnlich etwa $1\frac{1}{4}$ Zoll. Ein solches Seil, das während seiner Befestigung durch

einen besondern Arbeiter fortwährend verlängert, oder frisch angesponnen wird, legt man über jene Strohlage, so dafs es die Richtung der einzelnen Halme kreuzt, und man befestigt dieses Seil, indem man es in geringen Abständen mit der Sticknadel fafst und es in die Erde herabstöfst. Die Figuren zeigen mehrere solcher Stiche oder Krampen, mit denen das Seil bereits befestigt ist, sowie auch auf der rechten Seite die Bucht, die man dem Seil geben mufs, um eine neue Krampe darzustellen.

Die Sticknadel ist Fig. 50 in der Ansicht von zwei Seiten dargestellt. Sie besteht oft aus Eisen, häufig aber auch aus hartem Holz. Im ersten Fall ist sie dauerhafter, dringt auch leichter in den Boden ein, doch beschädigt sie leicht die Strohseile und durchschneidet sie wohl gar, woher die hölzernen Nadeln den Vorzug verdienen. Die Nadel ist in beiden Fällen am untern Ende flach und nicht über einen halben Zoll dick, ihre Breite mifst daselbst zwischen 2 und 3 Zoll, je nachdem sie aus Holz oder Eisen besteht, und sie ist gabelförmig mit einer Vertiefung versehn, worin das Strohseil reichlich Platz findet. Bevor man die Nadel auf das Seil aufsetzt, zieht man letzteres soweit aus, dafs es, ohne zu zerreifsen, bis zur beabsichtigten Tiefe herabgestofsen werden kann. Die flache Seite der Nadel wird parallel zu den Halmen der Strohlage gestellt, und dringt zwischen denselben hindurch, ohne sie mit herabzuziehn und sie dadurch in Unordnung zu bringen.

Zum Herabstofsen des Strohseils ist eine bedeutende Kraft erforderlich, und damit diese gehörig ausgeübt werden kann, mufs die Nadel jedenfalls eine angemefsne Länge haben, und mit einer bequemen Handhabe versehn sein. Man pflegt sie daher etwa 2 Fufs lang zu machen, und wenn sie aus Eisen besteht, hat sie am obern Ende einen Bügel. Bequemer ist jedoch die in der Figur dargestellte Einrichtung, die man auch vielfach benutzt. Das obere Ende der Nadel ist nämlich mit einer hölzernen Scheibe von etwa 10 Zoll Durchmesser verbunden, und der Arbeiter stöfst das Seil herab und bildet die Krampe, indem er sich auf diese Scheibe, wie auf einen Stuhl, setzt. Dafs Uebung erforderlich ist, um das Seil jedesmal scharf anzuziehn, ohne es zu beschädigen, bedarf kaum der Erwähnung. Die Arbeit schreitet so rasch vor, dafs in der Minute vier bis sechs Krampen durch einen geübten

2*

Arbeiter gemacht werden, und indem mehrere Seile gleichzeitig gesponnen und verstickt werden, so läfst sich diese Deckung in sehr kurzer Zeit ausführen.

Gewöhnlich treffen auf jeden laufenden Fufs drei Krampen, diese sind also von Mitte zu Mitte 4 Zoll von einander entfernt. Eben so weit pflegen auch die einzelnen Seile von einander gelegt zu werden, woher jeder Quadratfuss neun Krampen enthält. Wenn es sich nur um eine vorläufige Deckung handelt, so werden die Strohseile in dem doppelten Abstande von einander gelegt, woher die Arbeit schon in der halben Zeit beendigt ist, und später werden die fehlenden Seile dazwischen eingestickt. Diese Trennung ist insofern bequem und ohne Nachtheil, als man schon unmittelbar nach der Erndte, wo die Feldarbeiten die Kräfte noch sehr in Anspruch nehmen, das Ufer leicht sichern und gegen die ersten Herbststürme schützen kann, während vor dem Eintritt des Winters sich mehr Mufse findet, um die Deckung zu vervollständigen.

Dafs die Krampen in den einzelnen Seilen versetzt werden, ergiebt sich schon aus der Figur, und es leuchtet ein, dafs die Befestigung der Strohlage, worauf es doch allein ankommt, hierdurch wesentlich gewinnt. Die Tiefe, zu welcher die Strohseile eingestofsen werden, ist sehr verschieden, je nachdem der Boden mehr Thon oder Sand enthält, und je nachdem der Wellenschlag schwächer oder stärker ist. Unter günstigen Umständen begnügt man sich, die Krampen 3 Zoll tief eingreifen zu lassen, während oft selbst 6 Zoll noch nicht für ausreichend erachtet werden, und die Stiche 8 bis 9 Zoll Tiefe erhalten müssen.

Die Stroh-Bestickung ist keineswegs als dauerhaft anzusehn, wiewohl sie, so lange das Material noch frisch ist, dem Ufer einen guten Schutz gewährt. Das Stroh verliert aber bei der abwechselnden Benetzung sehr bald seine Festigkeit, und wird alsdann schon von den Wellen zerrissen, woher die Unterhaltung einer solchen Decke in jedem Jahr beinahe eben soviel kostet, als ob sie vollständig erneut würde. Woltman giebt die Kosten einer neuen Bestickung zu 2 Thlr. für die Rheinländische Quadratruthe an, die jährliche Unterhaltung aber nur um den siebenten Theil geringer. Aufserdem leidet die Bestickung auch durch vorbeitreibendes und aufschlagendes Eis, und selbst wenn sie noch

neu und fest ist, kann sie diesem Angriff nicht widerstehn. Man pflegt daher bei Ufern, die einer solchen Gefahr ausgesetzt sind, wenigstens vor dem Fuſs der bestickten Fläche eine Reihe Pfähle einzuschlagen, die etwa 1 Fuſs mit den Köpfen vorstehn.

Unter andern Verhältnissen, wo die Benetzung nicht so häufig eintritt, auch der Angriff im Allgemeinen schwächer ist, wie etwa auf einzelnen vom Rasen entblöſsten Stellen des Vorlandes und selbst auf den äuſsern Dossirungen der Deiche, zeigt sich die Strohbestickung oft viel vortheilhafter, und mehrfach habe ich in solchen Fällen bemerkt, daſs das Gras durch das Stroh hindurchwächst und sobald letzteres verfault, überzieht sich die früher entblöſste Stelle von selbst mit einem kräftigen Rasen.

Viel dauerhafter ist die Bedeckung des Ufers mit Steinen, die ohnerachtet der gröſsern Kosten der ersten Anlage immer mehr Eingang findet. Die Construction ist an sich sehr einfach, indem nur eine Schicht Feldsteine auf das vorher regelmäſsig abgeböschte Ufer gelegt wird. Man pflegt der Böschung meist eine dreifache Anlage zu geben, doch kommen zuweilen flachere und nicht selten auch steilere Böschungen vor. Je steiler indessen das Ufer ansteigt, um so gröſser ist die Gefahr, daſs die darauf liegenden Steine herabfallen. Man pflegt solchen Ufern, die einem besonders starken Wellenschlag ausgesetzt sind, recht flache Böschungen zu geben. Indem aber der Wellenschlag mit der Höhe des Wasserstandes zunimmt, und sonach der obere Theil eines Ufers jedesmal einem stärkern Angriff ausgesetzt ist, als der untere, so giebt man zuweilen dem obern Theil eine flachere Böschung, als dem untern, oder man bildet das Profil nicht nach einer geraden Linie, sondern nach einer Curve, deren hohle Seite abwärts gekehrt ist. Namentlich hat Woltman dieses wiederholentlich empfohlen, auch denselben Vorschlag auf die äuſsern Böschungen der Deiche ausgedehnt. Diese Anordnung kann indessen insofern nicht für passend angesehn werden, als die Beschädigungen in der Nähe des Fuſses ebensowol bei Uferdeckungen, wie bei Deichen, viel gefährlicher in ihren Folgen und zugleich viel schwieriger wiederherzustellen sind, als wenn hoch liegende Stellen angegriffen werden, die schon bald nach dem Eintritt der Ebbe sichtbar sind und alsdann ausgebessert werden können. Aus diesem Grunde dürfte das allgemein befolgte Verfahren, den Ufern in ihrer ganzen

Höhe eine gleichmäfsige Neigung zu geben, sich rechtfertigen, und eine Abweichung davon wäre nur insofern zulässig, als man die scharfe Kante zwischen der Dossirung und der Krone vermeiden mufs, weil aus derselben die Steine zu leicht von den Wellen herausgeworfen werden. Wenn daher diese Kante nicht durch Pfähle oder auf andre Art gesichert wird, so thut man wohl, die ebene Böschung durch eine cylindrisch gekrümmte Fläche mit der horizontalen Krone zu verbinden. Fig. 51 zeigt eine gleichmäfsige Böschung, Fig. 53 eine solche, die nach Woltman's Vorschlag oben flacher geneigt ist, als unten, und Fig. 54 eine Böschung, die mit sanfter Krümmung in die Krone übergeht.

Die Steindecke wird nicht unmittelbar auf den Boden gelegt, weil das Wasser, indem es durch die Fugen zwischen den einzelnen Steinen hindurchdringt, die Erde angreifen und ausspülen, und dadurch die ganze Uferdeckung in Unordnung bringen würde. Man pflegt daher unter allen Umständen und selbst, wenn der Boden aus sehr zähem und festem Thon besteht, eine Bettung anzubringen, welche den unmittelbaren Angriff des Wassers auf den Untergrund verhindert. In welcher Art dieser Angriff beim Wellenschlag erfolgt, ist leicht zu ersehn. Das aufgeworfene Wasser fliesst nämlich zum Theil durch die Fugen der Steinböschung wieder zurück, und wenn es dabei keine offnen Wege findet, so wirkt es mit einem der Niveau-Differenz entsprechenden Druck auf den Untergrund und spült denselben aus. Es kommt sonach darauf an, entweder durch eine recht lose Unterlage, wie etwa durch Strauch, jene Wege immer offen zu erhalten, oder den natürlichen Boden so sicher zu bedecken, dafs er dem Angriff entzogen wird. Im letzten Fall mufs aber die Zwischenlage aus so grobem Material bestehn, dafs sie von dem Wasser nicht selbst fortgespült wird. Diese Rücksichten sind beim Sande wichtiger, als beim Thonboden. Vorläufig ist nur von dem letztern die Rede, aber obwohl derselbe dem Angriff kräftiger widersteht, und daher die darauf liegende Steindecke sich im Allgemeinen besser erhält, als auf jenem, so mufs dennoch auch hier für eine passende Unterlage gesorgt werden.

Das Material, welches man im vorliegenden Fall zu dieser Bettung wählt, ist gewöhnlich Strauch, das man in Lagen, etwa 4 bis 6 Zoll hoch, über die Dossirung ausbreitet. Zuweilen

wählt man dazu Heidekraut oder Heiderasen, die jedoch weniger dauerhaft sind. Das Strauch verrottet aber auch in einigen Jahren, und indem alsdann der Untergrund ausgespült wird, so giebt sich der Eintritt dieses Zeitpunkts an dem unregelmäſsigen Versinken einzelner Steine zu erkennen. Bei der alsdann erforderlichen Reparatur des Deckwerks kommt es nur auf die Ausebenung der Böschung und die Erneuung des Strauchs oder der sonstigen Unterlage an, indem die Steine wieder benutzt werden können. Wenn dieselben passende Gröſse haben und sorgfältig versetzt waren, auch die Instandsetzung nicht zu lange verschoben wurde, so geschieht es nicht leicht, daſs ein merklicher Theil der Steine von den Wellen fortgespült wird, oder versinkt, und man bedarf daher gemeinhin nur eines geringen Zusatzes von neuen Steinen.

Diese vollständige Erneuung der Unterlage kann man indessen umgehn, wenn man groben Kies oder Bauschutt dazu verwendet. Ersterer ist unter den localen Verhältnissen, von denen hier die Rede ist, gemeinhin nicht leicht zu beschaffen, dagegen kann man den letztern meist für mäſsige Kosten aus der Nachbarschaft beziehn, und seine Anwendung ist daher, wenn auch der Ankauf des Strauchs noch wohlfeiler ist, doch in Betreff der Unterhaltung zu empfehlen. Dieser Bauschutt muſs, wenn er den bezeichneten Bedingungen entsprechen soll, aus Ziegelbrocken und Stücken von festem Mörtel bestehn, und der Zusatz an solchen Bestandtheilen, die im Wasser zergehn oder ganz locker sind, wie etwa Lehm, darf nicht bedeutend sein. Die Festigkeit der Steindecke wird wesentlich vergröſsert, wenn man jeden Stein stark nachrammt, und ihm dadurch ein schlieſsendes Lager giebt.

Die Steindecke besteht gemeinhin und namentlich an der Deutschen Küste aus einer einfachen Lage von Granitgeschieben, wie solche im nördlichen Deutschland in dem höheren aufgeschwemmten Boden vielfach vorkommen. Man verwendet statt derselben zuweilen auch Sandsteine aus Bornholm oder Granit aus Schweden, und alsdann pflegen die Steine ziemlich regelmäſsig behauen zu sein, so daſs sie theils fester liegen, theils aber auch die Fugen weniger geöffnet sind, und daher der Untergrund von dem durchdringenden Wasser weniger leidet. In diesem Fall braucht die Steindecke nur etwa 9 Zoll stark zu sein, während man ihr sonst eine durchschnittliche Stärke von

wenigstens 12 Zoll, und oft sogar von 18 Zoll giebt. Die Kosten der aus weiter Ferne bezogenen Steine sind indessen so bedeutend, dafs man davon nicht leicht Gebrauch macht, vielmehr geschieht dieses nur vor besonders reichen Marschen. Die zuerst erwähnten Granitgeschiebe pflegen ihren Zweck auch vollständig zu erfüllen, wenn man diejenigen Steine, die kein sichres Lager haben, entweder spaltet oder ganz verwirft, und dafür sorgt, dafs alle Steine, die man verwendet, ungefähr von gleicher Höhe sind und recht fest und geschlossen versetzt werden. Eine vollständige Abpflasterung, so wie ein Verzwicken der Fugen kommt hierbei nicht vor, weil der Untergrund zu weich und zu nachgebend ist, als dafs die regelmäfsige Oberfläche sich dauernd erhalten liefse. Aufserdem mufs man auch darauf Rücksicht nehmen, dafs bei der beschriebenen Construction vielfache Reparaturen ganz unvermeidlich sind, und sich fast in jedem Jahr wiederholen.

Bei heftigen Stürmen und in starkem Wellenschlag werden häufig einzelne Steine herausgerissen, und indem alsdann diejenigen Steine, welche zunächst oberhalb liegen und sich gegen diese lehnten, theils ihre Unterstützung verlieren, theils aber auch von dem Stofs der Wellen um so stärker getroffen werden, so pflegen sie bald gleichfalls nachzugeben, und in dieser Weise verliert oft die Uferböschung in kurzer Zeit einen grofsen Theil ihrer Decke. Damit die Beschädigungen dieser Art sich nicht zu weit ausdehnen, so zerlegt man zuweilen die zu schützende Fläche durch dazwischen gerammte Pfähle in einzelne Felder oder Caissons. Die Figuren 51 und 52 zeigen diese Anordnung sowol im Querschnitt, als in der Ansicht von oben. Die erwähnten Pfähle, welche man Caisson-Pfähle nennt, bestehn aus Eichenholz, und zwar entweder aus schwachen runden Stämmen, oder, wenn solche nicht in hinreichender Anzahl zu beschaffen sind, werden sie aus stärkerem Holz geschnitten. Sie sind etwa 6 Fufs lang und 6 Zoll stark. Gewöhnlich stehn sie von Mitte zu Mitte 2 Fufs aus einander, und jedenfalls mufs ihr lichter Abstand so geringe sein, dafs die nächsten Steine nicht leicht hindurchfallen können. Der Abstand der Pfahlreihen und zwar in beiden Richtungen pflegt 6 bis 8 Fufs zu messen. Indem die Pfahlköpfe gemeinhin noch etwa 3 Zoll über die Steindecke vorragen, so gewähren sie den dazwischen gepackten Steinen schon

unmittelbar einigen Schutz, vorzugsweise verhindern sie aber die weite Ausdehnung der Zerstörung, falls einzelne Steine herausgeworfen werden sollten.

Die Beschädigungen, denen die Pfähle selbst ausgesetzt sind, bleiben meist unerheblich, und die Unterhaltung eines solchen Ufers wird nicht merklich dadurch vertheuert, dafs in Zwischenzeiten von 15 bis 20 Jahren die Pfähle erneut werden müssen. Nichts desto weniger ist man von dieser Anordnung in neuerer Zeit dennoch vielfach zurückgekommen, weil man die Erfahrung gemacht hat, dafs gerade hierdurch Beschädigungen in der Steindecke veranlafst werden. Die Pfähle verhindern nämlich den regelmäfsigen Verband der Steine, und da man nicht kleine Steine anwenden darf, so ist es schwieriger, alle einzelnen Felder dicht geschlossen auszufüllen, als die Dossirung ohne Unterbrechung regelmäfsig zu überdecken. Durch die Caissons wird daher zwar eine weite Ausdehnung der Beschädigungen verhindert, das Eintreten derselben aber befördert. Dazu kommt noch, dafs, wenn ein Feld von seinen Steinen entblöfst ist, die Wellen dasselbe übermäfsig angreifen, indem sie gegen den senkrecht vortretenden Rand des nächsten Feldes schlagen und den Grund davor ausspülen. Es bilden sich alsdann bedeutende Vertiefungen, bevor die Pfähle daneben nachgeben und die Steine aus den angrenzenden Feldern herabstürzen. Eine zusammenhängende Steindecke, die durch keine Pfahlreihen unterbrochen wird, ist daher insofern vortheilhafter, als bei dieser jede Lücke, die bald eine merkliche Vertiefung des Untergrundes veranlafst, sich mit den nächsten Steinen füllt, und dadurch einigermaafsen wieder eine schützende Decke erhält. Dabei kann allerdings bei heftigem Wellenschlag zwar ein grofser Theil der Dossirung in Unordnung gerathen, aber die Vertiefungen bleiben doch mässiger und sind weniger gefährlich, als wenn man durch die Trennung in Felder die Beschädigungen auf einzelne Stellen beschränkt.

Die Pfahlreihen sind dagegen als Einfassung der Steindecke von grofser Wichtigkeit, und können nicht füglich entbehrt werden. Einerseits mufs schon der Fufs der Böschung, der sich an das davor liegende Watt anschliefst, geschützt werden. Die untere Steinreihe würde aber jeder sichern Unterstützung entbehren, wenn die Einfassung hier fehlte. In den Figuren

53 und 58 ist diese Anordnung dargestellt. Um eine Vertiefung des Watts zu verhindern, die leicht in sehr bedenklicher Weise das ganze Deckwerk bedrohen könnte, pflegt man vor dem Fufs des letzteren noch eine Schüttung loser Steine anzubringen. Dieselbe ist, wenn die Böschung des Ufers recht flach gehalten wird, keinem starken Angriff ausgesetzt. Man giebt ihr daher nur etwa 6 Fufs Breite und 1 bis 2 Fufs Stärke und verwendet dazu alle Steine, die theils wegen ungenügender Gröfse, theils aber auch wegen unpassender Form zur Abdeckung des Ufers sich nicht eigneten.

Aufserdem mufs die Steinböschung auch auf der Landseite sicher begrenzt werden, damit die einzelnen Blöcke weder in den dahinter liegenden Erdboden eindringen, noch von den Wellen leicht herausgeworfen werden. Das Letzte ist vorzugsweise zu besorgen, wenn die Steindecke nur die äufsere Dossirung schützt, und an der Kante der Krone aufhört. In diesem Fall fehlt der obern Steinreihe die sichere Stütze gegen den Stofs der Wellen, und sie mufs daher an eine feste Holzwand gelehnt werden.

Die Fugen solcher Steindecke sind wegen der unregelmäfsigen Form der verwendeten Geschiebe weit geöffnet, man pflegt sie mit Kies zu füllen, doch ist dieses ohne Erfolg, denn beim ersten Wellenschlag verschwindet der Kies vollständig. Häufig werden die Fugen auch verzwickt, indem man solche Granitstücke, die leicht spalten, zerschlägt, und die flachen Scherben mit dem Hammer zwischen die Steine treibt. Es tritt hierbei aber wieder in sehr kurzer Zeit derselbe Uebelstand ein, denn die Zwicken, die schon beim Einschlagen zerbrechen, werden in gleicher Weise wie der Kies, von den Wellen herausgeworfen. In neuerer Zeit verstreicht man vielfach die Fugen, nachdem Kies eingeschüttet worden, mit Cement. Derselbe wird allerdings, wenn er einige Zolle stark ist, nicht so leicht ausgewaschen, obwol er dennoch bei starkem Wellenschlag, wobei die Steindecke in Bewegung kommt, zerbricht und sich ablöst. Dabei entsteht noch die Frage, ob es an sich zweckmäfsig ist, einen wasserdichten Schluss hier darzustellen, da der Druck von unten nach oben beim Gegentreten der Wellen doch nicht vermieden werden kann, sobald das Wasser am Fufs der Steindecke darunter tritt. Zuweilen sieht man, dafs in solchem Fall selbst grofse Steine gehoben und

herausgeworfen werden. Jedenfalls dürfen die Fugen nicht früher verstrichen werden, als bis ein Setzen des Untergrundes nicht mehr zu besorgen, derselbe auch so gesichert ist, dafs er nicht leicht ausgespült werden kann. Wenn jeder einzelne Stein ein gut schliefsendes und festes Lager hat, und aufserdem an sich hinreichend grofs und schwer ist, so wird er weder versinken, noch auch gehoben werden, und Letzteres ist um so weniger zu besorgen, wenn das darunter eingedrungene und stark geprefste Wasser durch die Fugen frei ausspritzen kann.

Woltman empfiehlt, nur Steine anzuwenden, die 200 bis 600 Pfund wiegen, oder $1\,^1/_5$ bis $3\,^1/_2$ Cubikfufs halten. Der Stofs des Wassers, oder die lebendige Kraft, die dasselbe gegen einen Stein ausübt, ist das Product aus dem Quadrat der Geschwindigkeit in die Ausdehnung der getroffenen Fläche, der Widerstand des Steins ist aber seinem Gewicht oder der dritten Potenz seines Durchmessers proportional. Zwei Steine von gleichem specifischen Gewicht werden daher unter denselben Umständen gleichen Widerstand leisten, wenn die Quadrate ihrer Durchmesser wie die Geschwindigkeiten, oder ihre Gewichte wie die sechsten Potenzen der Geschwindigkeiten sich verhalten. Dieses Gesetz wurde schon von Brahms*) angedeutet, Woltman hat es ausführlicher nachgewiesen und erläutert**), die Anwendung ist indessen schwierig, da man für die Einzelnheiten der Erscheinung nur willkürliche Zahlenwerthe einführen kann.

Häufig werden die Steinböschungen in ihrem untern Theil und zwar bis zur Höhe der halben Fluth noch durch gewisse Schaalthiere und Pflanzen geschützt. Wenn das Ufer hinter hohen Untiefen liegt, die den Wellenschlag wesentlich mäfsigen, auch das vorbeiströmende Seewasser viele thonigen Theile enthält, so pflegt der Seetang zwischen und auf den Steinen zu wurzeln, und er bildet, sobald er bei steigendem Wasser schwimmt, eine weiche Umhüllung der Böschung, die den Stofs der Wellen auffallend mäfsigt, und Beschädigungen verhindert. Sobald dieser Tang kräftig angewachsen ist, halten sich die Steindossirungen viel besser, als vorher. Beim Eisgange wird indessen oft in kurzer

*) Anfangsgründe des Deich- und Wasserbaues. I. § 20.
**) Beiträge zur hydraulischen Architectur. II. Seite 148.

Zeit diese Vegetation abgestofsen. Wenn dagegen das Meerwasser reiner ist, so überziehn sich die Steine ungefähr in derselben Höhe mit einer Art Maler-Muschel, die besonders in den Fugen sich vorfinden, und bei ihrer Vermehrung grofse Klumpen bilden, welche die freien Räume vollständig schliefsen. Diese Muschel hat zwei congruente flache Schalen und erreicht selten eine gröfsere Länge, als etwa von einem Zoll, aber sie haftet sehr fest an den Steinen, indem vier Paare Fäden von ihr ausgehn, die wie Wurzeln sie mit dem Stein verbinden. Besonders an der nördlichen Spitze und auf der westlichen Küste von Nord-Holland findet man diese Muscheln in grofser Masse, und wenn sie auch nicht, einem guten Mörtel ähnlich, die Steine unter einander verbinden, so wirken sie doch insofern sehr vortheilhaft, als sie die Fugen schliefsen, und dadurch das heftige Ein- und Ausströmen des Wassers und das Ausspülen des Untergrundes verhindern.

Fig. 53 zeigt noch die eigenthümliche Anordnung, dafs die Steinböschung über das Maifeld heraufreicht und mit ihrer Krone einen niedrigen Deich bildet. Woltman schreibt dieses unbedingt vor, und verlangt, dafs die Böschung 2 Fufs höher, als das dahinter liegende Terrain sein soll. Der Grund dafür ist aber nicht nur, dafs man das Ueberschlagen der Wellen bis zu einer gröfsern Höhe verhüten will, sondern die Beschädigungen des Rasens und des ganzen Ufers durch die aufschlagenden Wellen werden auch sehr gemäfsigt, wenn die Wiesenfläche dahinter mit Wasser bedeckt ist. Die erwähnte Erhöhung hat also den Zweck, das schnelle Zurückfliefsen des Wassers zu verhindern, und auf dem Ufer einen höhern Wasserstand zu halten. Derselbe mufs sich freilich später wieder senken und der Rasen mufs trocken werden, sobald das Meer ebbt, aber hierzu genügen einige Abfluss-Oeffnungen, die man hin und wieder im obern Theil der Böschung anbringt.

Diese Anordnung wurde zuerst an der untern Elbe vorgeschlagen und mit günstigem Erfolg eingeführt. Die Ufer neben Cuxhaven waren schon lange mit Steinkisten eingefafst, wovon später die Rede sein wird. Diese erfüllten jedoch nur unvollständig ihren Zweck, denn die überschlagenden Wellen zerstörten den Rasen dahinter, und spülten den Boden aus, so dafs das Deckwerk bald ganz isolirt zu stehen pflegte, worauf man nach einiger

Zeit es wieder weiter zurücklegte. In dieser Weise waren die Ufer und mit ihnen der Hafen in anderthalb Jahrhunderten etwa 300 Ruthen weit zurückgewichen. Eine neue Zurücklegung war 1785 beantragt und wurde 1786 bei der Anwesenheit eines Commissars aus Hamburg beschlossen, als Woltman darauf aufmerksam machte*), dafs der Abbruch sich immer nur auf einen gewissen Abstand hinter den Steinkisten ausdehnt, dieselben also das Maifeld besser schützen, wenn sie es nicht unmittelbar berühren, als wenn sie zurückgestellt werden. Er sprach ferner die Ansicht aus, dafs das stehende Wasser hinter den Deckwerken den Stofs der überschlagenden Wellen mäfsigt, und sonach eine Erhöhung dieser Werke über das Maifeld, wodurch das übergetretene Wasser zurückgehalten wird, besonders vortheilhaft sein würde. Dieser Rath, den Woltman zu einer Zeit ertheilte, als er dem Wasserbau noch fern stand und nur bei längerem Aufenthalt in Cuxhaven die Wirkungen der Wellen mit Aufmerksamkeit beobachtet hatte, wurde auch berücksichtigt, und weder damals, noch später sind diese Deckwerke wieder zurückgelegt worden. Die Ueberhöhung des Deckwerks, die demnächst zur Ausführung kam, bezog sich aber nicht auf Steinconstructionen, sondern auf den Holzbau. Sie ist in Fig. 57 dargestellt.

Statt der natürlichen Steine wendet man vielfach zur Deckung der niedrigen Ufer oder der Aufsendeiche, in gleicher Weise wie bei den Deichen, gebrannte Steine oder Ziegel an. Der Aufsendeich ist wegen seiner mäfsigen Erhebung über das Watt jedesmal leichter zu vertheidigen, als die Deichböschung, aufser-

---

*) Geschichte und Beschreibung der Wasserbauwerke im Amte Ritzebüttel. Hamburg 1801. Seite 75 wird darin unter Andeutung dieser Vorschläge nur gesagt, dieselben seien von andrer Seite gemacht worden. Der Verfasser dieser Schrift hat sich nicht genannt, es ist aber kein Andrer, als Reinhard Woltman, der spätere Wasser-Baudirector in Hamburg, dessen Bauten in Cuxhaven ohne wesentliche Aenderung grofsentheils noch bestehn. Woltman war damals Secretär bei dem Lieutenant, der die aus 20 Mann bestehende Besatzung des Schlosses Ritzebüttel commandirte. Jener Commissar war der Syndicus Schuback später Woltman's Schwiegervater, derselbe erkannte sogleich die klare Auffassung des jungen Mannes, löste sein bisheriges Dienstverhältnifs und sorgte dafür, dafs ihm die nöthige Unterstützung zu Theil wurde, um einige Jahre in Göttingen zu studiren.

dem ist bei ihm eine Beschädigung der Steindecke auch weniger gefährlich, als auf dem Schaardeich. Die sehr schweren gebrannten Steine, von denen § 17 die Rede war, finden daher nicht leicht bei der bloſsen Uferdeckung Anwendung.

Die gewöhnlichen Ziegel oder Klinker sind in den Marschgegenden meist leichter zu beschaffen und wohlfeiler, als Feldsteine. Sie lassen sich auch dichter versetzen und schützen daher mehr den Untergrund, den man zuweilen sogar ganz unbedeckt läſst, was jedoch keineswegs zu empfehlen ist. Endlich läſst sich mit ihnen auch eine sehr gleichmäſsige Fläche darstellen, die weniger Unebenheiten zeigt, als ein Pflaster aus rohen Steinen.

Vorzugsweise hat man darauf zu achten, daſs die Steine recht fest sind und weder durch abwechselnde Benetzung und Austrocknung, noch auch durch Frost leiden. Das äuſsere Ansehn und sonstige Proben lassen diese Eigenschaften nicht sicher erkennen. Jedenfalls müssen die Ziegel recht hart gebrannt, auch von sichtbaren Kalkstückchen frei sein. Eben so dürfen sie nicht, wenn man sie ins Wasser legt, dasselbe in grosser Masse ansaugen und dadurch bedeutend schwerer werden. Wenn sie aber in diesen Beziehungen auch keine Besorgniſs begründen, so läſst sich dennoch ihre Dauerhaftigkeit nur durch Erfahrung sicher beurtheilen, indem man sie versuchsweise ein Jahr lang der Einwirkung der Fluth und Ebbe und des Wellenschlags aussetzt.

Die Ziegel haben gegen Granitgeschiebe und sonstige Steinblöcke den wesentlichen Nachtheil, daſs sie leichter sind, und vergleichungsweise eine groſse Angriffsfläche dem Stoſs der Wellen entgegensetzen, sobald irgend wo eine Lücke entstanden ist. Die Beschädigungen pflegen daher in einer Ziegelböschung sich schnell und weit auszudehnen, auch kann man solchen durch Caissons nicht füglich vorbeugen, weil die Pfähle in ganz unangemessener Weise den Verband unterbrechen würden. Einzelne Bohlen oder Dielen, die man hochkantig dazwischen einstellen könnte, haben aber an sich wenig Festigkeit. Nichts desto weniger wird dieses Mittel doch zuweilen angewendet, indem in Entfernungen von mehreren Ruthen solche hochkantig verlegte Dielen, die zugleich als Chablonen dienen, die Ziegelböschung unterbrechen, und vom Fuſs derselben bis zu ihrer Krone ansteigen. Dabei bildet sich jedoch eine lang ausgezogene Fuge in der Richtung, in welcher

die Wellen auflaufen, und diese giebt leicht Veranlassung zu Beschädigungen, woher es vortheilhafter ist, die Unterbrechung des regelmäſsigen Verbandes zu vermeiden.

Die Gröſse der Ziegel stimmt mit der sonst üblichen überein, und bleibt häufig noch darunter, weil es vorzugsweise darauf ankommt, daſs sie recht scharf gebrannt sind. Beim Versetzen stellt man sie in Reihen parallel zum Ufer, und sorgt dafür, daſs die Stoſsfugen der verschiedenen Reihen im Verbande sind, also jede Fuge sowol in der vorhergehenden, als folgenden Reihe durch einen Stein gedeckt wird. Die Steine liegen niemals flach, sondern werden entweder hochkantig, oder wenn der Angriff besonders stark ist, auch auf den Kopf gestellt. Das Profil Fig. 55 zeigt beide Methoden mit einander verbunden. Indem der obere Theil der Böschung, der von der höhern Fluth getroffen wird, dem stärkern Wellenschlag ausgesetzt ist, daher auch vorzugsweise gesichert werden muſs, so stehn hier die Steine auf dem Kopf, während sie weiter abwärts hochkantig liegen.

Eine Unterlage unter diesen Ziegelböschungen kann nicht füglich entbehrt werden. Strauch eignet sich hierzu aber nicht, weil es eine zu unregelmäſsige Fläche bildet, dagegen ist Kies, Bauschutt, Heidekraut, u. dgl. sehr wohl zu benutzen, und in den stark bedrohten Ufern vor Eckwarden und Tossens, an der östlichen Seite des Jade-Busens, hat der Deichgräf Peters mit groſsem Vortheil zu diesem Zweck eine dünne Lage Seetang benutzt, die dort leicht zu beschaffen ist, sich sehr eben ausbreiten läſst, und den Untergrund vollständig bedeckt, und vor Ausspülung sichert. Das Profil dieser Uferdeckung stellt Fig. 55 dar. Die Böschung hat hier eine vierfache Anlage.

Jedenfalls muſs die Ziegelböschung sowol oben, als unten eingefaſst werden, und dieses geschieht durch Bohlen, die sich auswärts gegen Pfähle lehnen. Hierbei tritt jedoch der Uebelstand ein, daſs die Bohlen, wenn die Pfähle senkrecht eingerammt sind, gleichfalls senkrecht stehn, und sonach die anschlieſsenden Ziegelreihen sich nicht mit der vollen Fläche, sondern nur mit der obern oder der untern Kante dagegen lehnen. An der obern Seite, wo die Berührung nur mit der untern Kante erfolgt, wie Fig. 54 zeigt, entsteht eine weit geöffnete Fuge, die man zwar mit Ziegelbrocken zu füllen pflegt, die dadurch jedoch nicht sicher geschlossen werde

kann. Sobald die obere Steinreihe aber gelöst ist, so tritt für die zweite Steinreihe dieselbe Gefahr ein, und in dieser Art lösen sich nach und nach die Steine, und werden bald einzeln von den Wellen herausgeworfen. Bei der erwähnten Uferdeckung, die Fig. 55 zeigt, hat man diesem Uebelstande sehr zweckmäfsig dadurch vorgebeugt, dafs man die obere Bohle der Böschung entsprechend keilförmig zugeschnitten hat, so dafs sie sich eben sowol an die senkrecht eingerammten Pfähle, als auch an die schräggestellten Steine mit der vollen Fläche lehnt. Die Pfähle, welche die Bohle unterstützen, bestehn aber wieder aus Bohlenstücken, die sich unmittelbar berühren und eine 6 Fufs hohe dichte Wand bilden.

Am Fufs der Böschung ist das Klaffen der Fuge von geringerer Bedeutung, weil hier theils der Angriff der Wellen schwächer ist, theils aber auch die nach unten erweiterte Fuge ziemlich sicher mit zähem Thone ausgefüllt werden kann, den man vor dem Versetzen der Steine längs der Bohle abstreicht, wie Fig. 54 angegeben ist. Fig. 55 zeigt auch in dieser Beziehung eine andre und bessre Anordnung, indem die Pfähle hier nicht senkrecht, sondern schräge eingerammt sind. Ihre Stellung wird dabei freilich nicht so regelmäfsig, doch ist dieser Umstand aus dem angeführten Grunde weniger bedenklich. Der weiche Boden setzt auch dem Eindringen des Pfahls keinen erheblichen Widerstand entgegen, woher die schräge Richtung keine Erschwerung beim Rammen veranlafst.

Die Ziegelböschungen erfordern eine sehr sorgfältige Unterhaltung, weil Beschädigungen darin sich in kurzer Zeit weit auszudehnen pflegen. Man darf aber nicht allein darauf achten, dafs einzelne Steine, die vielleicht zerbröckelt oder zufällig von den Wellen herausgeworfen sind, möglichst bald durch andre ersetzt werden, sondern die ganze Oberfläche der Böschung mufs auch möglichst eben bleiben, weil die an sich weit leichtern und daher weniger widerstandsfähigen Steine nur dadurch gehalten werden können, dafs die Wellen keine Angriffspunkte finden.

Hierzu tritt oft noch eine andre Gefahr. Wenn nämlich vor dem Fufs Steinschüttungen angebracht sind, so kann es nicht fehlen, dafs einzelne Steine, besonders wenn bei heftigen Stürmen der Wasserstand sich nur wenig über das Watt erhebt, durch die

Wellen in Bewegung gesetzt und auf die Böschung geworfen werden. Die Ziegel, die von diesen Steinen getroffen werden, zerbrechen alsdann, und aus diesem Grunde fehlt in der beschriebenen und Fig. 55 dargestellten Böschung auch diese Schüttung. Indem aber auch einzelne, von den Wellen ausgeworfene Ziegel in gleicher Weise, wie Feldsteine, wirken, so werden bei diesem Ufer sogar mit grofser Sorgfalt alle ganzen Ziegel oder gröfsern Stücke derselben, die sich in kurzer Zeit abzurunden pflegen, und daher bei den Reparaturen nicht weiter benutzt werden können, aufgelesen und beseitigt. Der Fufs der Böschung wird aber dadurch gesichert, dafs er nirgend über das Watt vortritt, zum Theil sogar unter dasselbe herabreicht. Ein wesentlicher Schutz wird für den untern Theil der Böschung aber wieder dadurch erreicht, dafs der Seetang auf den untern Reihen der Ziegel kräftig zu wachsen und sich auszubreiten pflegt, woher hier der Angriff der Wellen sich in hohem Grade mäfsigt und Beschädigungen nicht oft vorkommen.

Der obere Rand der Ziegelböschung stützt sich gegen die bereits erwähnte Bohle, an welche die sämmtlichen Steine der obern Reihe sich lehnen. Jedenfalls bedarf hier das anschliefsende Ufer noch einer besondern Deckung, weil es sonst ausbrechen könnte und jene Bohle zugleich mit den Pfählen, die sie halten, ihren sichern Stand verlieren würde. Das Aufbringen loser Steine ist neben den Ziegelböschungen nicht zulässig, weil dieselben leicht herabrollen und die Ziegel zerbrechen. Man wählt daher nicht selten, wie auch Fig. 54 zeigt, eine Strohbestickung. Diese kann sich entweder stumpf an die Einfassungs-Bohle anschliefsen, wodurch die regelmäfsige Oberfläche nicht unterbrochen und der scharfe Absatz vermieden wird, oder sie kann auch unter die Ziegelböschung greifen. Der letzte Fall ist in der Figur dargestellt. Ein Deckwerk dieser Art, wobei jedoch die Stufe vermieden war, wurde am Schlufs des vorigen Jahrhunderts bei Cuxhaven und zwar zwischen der Hafenmündung und der Kugelbaake versuchsweise ausgeführt. Woltman sagt, dafs es sich gut gehalten, auch weniger als die Feldstein-Böschung gekostet habe, doch ist letztere daselbst später wieder in Anwendung gekommen und zwar in der Art, dafs sie sich oben an eine Strohbestickung anschliefst.

Bei dem erwähnten Ufer an der Jade, Fig. 55, hat man ein andres Verfahren gewählt, das in der Anlage weniger kostbar war, auch sich bewährte. Soweit nämlich die Beschädigungen durch überschlagende Wellen sich erstrecken, ist der Boden durch schwere, 10 Zoll hohe Heiderasen bedeckt. Diese schliefsen sich gut an einander an, so dafs sie nicht herausgeworfen werden können, was schon durch ihr Gewicht zum Theil verhindert wird. Die vielen Wurzelfasern, mit denen sie durchzogen sind, geben aufserdem den einzelnen Rasen grofse Festigkeit, so dafs nicht leicht Theile davon sich lösen, dieses wird auch durch die Elasticität der Masse noch mehr verhindert. Die ganze Uferdeckung ist als sehr gelungen anzusehn, und zwar um so mehr, als die Zurücklegung des Deichs bereits nothwendig erschien, weil das Vorland weit eingerissen war, und deshalb der Angriff der See gegen den Deich immer heftiger wurde und zuletzt unwiderstehlich erschien. Seit Einführung dieser Deckungsart zieht sich ein Vorland von 90 Fufs Breite, und zwar in der Höhe von 4 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser vor dem Deiche hin. Auf dem Watt liegen aber noch Einbaue, hier Schlengen genannt, die dasselbe dem Angriff des Stroms entziehn, der bei jeder Fluth den Jade-Busen füllt, und bei jeder Ebbe wieder der See zugekehrt ist. Zur Bildung des Vorufers wurde die Erde grofsentheils aus dem Watt entnommen. Der Deich ist gegenwärtig vollkommen gesichert, uud wie sehr er auch früher bedroht war, so wird er von den Bewohnern der benachbarten Marschen nunmehr für einen der besten und am meisten geschützten Deiche gehalten.

Vielfach werden die Deckwerke noch durch Holzwände verstärkt, welche allerdings das Forttreiben der Steine verhindern, auch dem Stofs der Wellen einen kräftigen Widerstand entgegen setzen, jedoch von Zeit zu Zeit kostbare Reparaturen erfordern. Wenn sie nicht tiefes Wasser vor sich haben, so geben sie auch zum starken Angriff des zunächst davor belegnen Ufers Veranlassung, indem sie die horizontale Bewegung der Wellen plötzlich unterbrechen, und hierdurch ein heftiges Branden verursachen. Verschiedne Constructionen dieser Art findet man an der Küste der Nordsee und zwar ebensowol in den Niederlanden, als auch vor den deutschen Marschen. Besonders ist das zu Hamburg gehörige Ufer vor dem Amt

Ritzebüttel zum Theil in dieser Weise gedeckt. Wenn man auch bei vorkommenden Neubauten manche Aenderungen eingeführt, und diejenigen Constructions-Arten beseitigt hat, die besonders mangelhaft waren, so ist dennoch auch gegenwärtig die Verschiedenartigkeit der Deckung dieser ziemlich kurzen, aber einem heftigen Angriff ausgesetzten Uferstrecke sehr auffallend. Die Beschreibung einiger der hier vorkommenden Deckungsarten wird genügen, um diese Constructionen im Allgemeinen darzustellen.

Fig. 56 *a* und *b* zeigt im Querprofil und im Grundriss eine Uferdeckung, die eigentlich noch eine Steinböschung ist, und von der oben beschriebenen sich nur dadurch unterscheidet, dafs die Pfahlreihen, welche sie in schmale Felder abtheilen, manche Verstärkungen erhalten haben. Hieher gehören zunächst die Holme, womit die Pfähle verbunden sind, sodann die Zangen, welche die beiden obern Pfahlreihen gegenseitig verankern, und endlich die niedrige Wand aus kurzen eingerammten Bohlenstücken bestehend, welche den obern Theil der Böschung schützt. Diese Construction wurde schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bei dem sogenannten Schlengelwerk, das sich auf der Westseite unmittelbar an den Hafen Cuxhaven anschliefst, in einer bedeutenden Länge angewendet. Theilweise wurde es später durch eine einfache Steinböschung ersetzt, aber in den Jahren 1785 bis 1787 stellte man die ursprüngliche Construction wieder her. Woltman tadelt, dafs ein scharfer Rücken hierbei die Krone ersetzt, und dafs man wegen des Fehlens der letztern dem Werk auch nicht die übliche Höhe geben darf.

Der mittlere und höchste Theil der zuletzt beschriebenen Uferdeckung bildet an sich schon eine Art von **Steinkiste**, indem die beiderseitigen Wände nicht nur verstärkt und gegen Ausspülung gesichert, sondern auch unter sich verbunden sind. Die Dossirung, welche noch ziemlich flach von dem Watt bis zu der nächsten Wand ansteigt, fehlt an andern Uferstrecken und alsdann ist die Steinkiste in ihrer eigentlichen Form dargestellt. Ihre Zusammensetzung stimmt mit der eines gewöhnlichen Fangedamms nahe überein. Sie wird zu beiden Seiten von Pfahlreihen begrenzt, die mit Holmen versehn, und durch Zangen mit einander verbunden sind. Zuweilen stehn die Pfähle der äufsern Reihe dicht schliefsend neben einander, wenn dieses aber nicht geschieht, so mufs man,

um das Herauswerfen der Steine zu verhindern, eine Bohlenverkleidung anbringen. Der innere Raum ist jedesmal mit Steinen angefüllt.

Zur Verstärkung dieses Baues setzt man zuweilen, wie auch bei Fangedämmen geschieht, vor die erste Kiste noch eine zweite niedrigere, und zwar wird diese auf der Seeseite angebracht, und gleichfalls mit Steinen gefüllt. Fig. 57 *a* und *b* zeigt diese Construction in der Seitenansicht und im Grundriss, doch gehört die pultförmige Erhöhung ursprünglich nicht dazu. Das Werk wurde in der Mitte des vorigen Jahrhunderts ausgeführt und schliefst sich auf der östlichen Seite an die Hafenmündung an. Seine horizontale Krone liegt in der Höhe der gewöhnlichen Fluthen und das Holz hatte sich lange Zeit hindurch, vom Wurme wenig berührt, meist gut gehalten. Die äufsere niedrige Kiste war dagegen durch den Wurm stark angegriffen. Der pultförmige Aufsatz wurde, wie bereits erwähnt, auf Woltman's Vorschlag im Jahre 1786 hinzugefügt, und wenn man denselben sowie die ganze ursprüngliche Construction noch erhält, so geschieht dieses wohl aus keinem andern Grunde, als aus Pietät für Woltman.

Eine besonders steile Steinböschung veranlafst nicht nur eine heftige Brandung, wobei das herabstürzende Wasser den Rand des Aufsendeichs beschädigt, sondern sie zieht, wie vielfach vermuthet wird, auch die Küstenströmung an, und schon aus dem ersten Grunde bildet sich davor eine tiefere Rinne, welche die Erhaltung der Wand erschwert. Man mufs daher fast jedesmal noch eine Steinschüttung anbringen, die immer aufs Neue verstärkt wird, so oft eine neue Vertiefung eingetreten ist.

Fig. 58 *a* und *b* zeigt eine wesentlich verschiedene Deckungsart, wobei nicht sowol eine Steinpackung, als vielmehr eine freistehende Holzwand den Stofs der Wellen aufnimmt. Sie wurde bereits im Anfange dieses Jahrhunderts ohnfern der östlichen Grenze des zu Ritzebüttel gehörigen Ufers angewendet, und bei der weitern Fortsetzung des Uferschutzes hat man auch später dieselbe Construction beibehalten. Diese Wand, welche aus schliefsend eingerammten beschlagenen Pfählen besteht, wird durch zwei Zangen auf der Landseite verstärkt. Die eine befindet sich nahe über der Oberfläche des Watts und die andre 2 Fufs über der gewöhnlichen Fluth. Jeder einzelne Pfahl ist durch einen

starken Bolzen mit jeder Zange verbunden. Um das anschliefsende Ufer gegen Beschädigungen durch das überschlagende Wasser zu sichern, liegt eine Steinschüttung dahinter. Auf der Seeseite ist dagegen eine vollständige Steindossirung mit Unterfüllung angebracht, die sich an eine Reihe von schwachen Schutzpfählen lehnt. Es mufs bemerkt werden, dafs diese Werke dem Wellenschlage nicht so stark ausgesetzt sind, als die weiter westwärts belegnen, von denen früher die Rede war.

Von ähnlichen Holzwänden, die zum Schutz der Ufer in den Niederlanden vielfach angewendet werden, wenn Deiche unmittelbar dahinter liegen, ist bereits § 17 die Rede gewesen. Hier wäre aber noch eine eigenthümliche Uferdeckung in Holz zu erwähnen, die vor den Festungswerken von Kronstadt zur Ausführung gekommen ist. Dieselbe besteht aus einer Reihe Senkkasten, wie solche Theil II, § 31, beschrieben und daselbst in Fig. 100 auf Taf. XIII gezeichnet sind. Die Böden, wie die Vorder- und Hinterwände sind aus ziemlich dicht neben und über einander liegenden Rundhölzern gebildet, welche die Steinschüttung einschliefsen. Die landseitige Wand ist lothrecht, die seeseitige dagegen in der Neigung von 45 Graden aufgeführt, und zur Verbindung beider dienen hölzerne Anker, die mit den Rundhölzern der Wände überschnitten sind und deren Köpfe beiderseitig einige Fufs weit vortreten. Die Höhe der Kisten mifst etwa 5 Fufs und die Kronenbreite in der Steinpackung 2 Fufs. Diese Uferdeckung soll sich gut gehalten haben *).

Die vorher beschriebnen Deckungen umfassen keineswegs alle verschiednen Constructions-Arten, die man auf dem etwa 2500 Ruthen langen Elbufer des Amtes Ritzebüttel sieht. Aus demselben treten aufser verschiedenen Buhnen oder Stacken, die zum Theil bis zu sehr grofser Tiefe hinausreichen, zwei besonders wichtige Punkte vor. Der eine derselben ist die Mündung des Hafens, die schon aufserhalb des Watts liegt, und auf dem andern steht eine Landmarke, die Kugelbaake genannt. Letztere befindet sich auf der scharfen Deichecke zwischen dem eigentlichen Elbdeich und dem Steinmarner Deich, der zur Seite der hohen

---

*) Notizblatt des technischen Vereins zu Riga. VII. Jahrgang (1868) Seite 140.

Watte sich hinzieht und sich bald an die Geest anschliefst. Bis nahe an die Kugelbaake tritt der Aufsendeich heran und da derselbe nur ein schmales und niedriges Watt vor sich hat, so bedurfte er eines kräftigen Schutzes. Fig. 59 zeigt das Profil der hier ausgeführten Uferdeckung, die jedoch an der am weitesten vorspringenden Spitze vor der Baake selbst noch massenhafter ist, auch von verschiednen gegen einander verstrebten Holzwänden umschlossen wird. Die massive Quader-Mauer besteht aus sehr grofsen, bis 2000 Pfund schweren und roh bearbeiteten Werkstücken, die möglichst regelmäfsig im Verbande ohne Anwendung von Mörtel schichtenweise aufgepackt sind. Woltman bemerkt über die in gleicher Weise an der Hafenmündung befindliche rohe Mauer, dafs zuweilen einzelne Steine von den Wellen gelöst werden, dafs dieses aber dennoch unter allen die solideste Uferbefestigung sei. Beim Versetzen der Steine ist der Raum dahinter mit Kies und festem Thon ausgefüllt. Die auf der Seeseite befindliche, verholmte Pfahlwand, die einen offnen Zwischenraum von mehr als 2 Fufs Breite frei läfst, hat nur den Zweck, den Stofs der Wellen etwas zu mäfsigen.

Ferner wäre zu erwähnen, dafs man später vor dem Steinmarner Deich, also im Schutz der weit ausgedehnten davor liegenden Watte, noch eine andre, ganz verschiedne Deckungsart versucht hat. Dieses ist eine concave Mauer, von der schon bei Gelegenheit der Sicherung der Seedeiche die Rede war, wenn solchen die äufsre Böschung ganz fehlt (§ 17). Das frühere Deckwerk an derselben Stelle, das flach geneigt war, veranlafste beim Auflaufen der Wellen starke Beschädigungen in dem Aufsendeich, der hier nicht mehr aus festem Kleiboden besteht, vielmehr schon sehr sandhaltig ist. Um das Aufwerfen grofser Wassermassen zu verhindern, wählte man die in Fig. 60 dargestellte Constructionsart. Die Mauer bildet im Profil einen vollen Quadrant, der mit dem Radius von 10 Fufs beschrieben ist, und besteht aus behauenen Graniten, die in Mörtel versetzt, auf Béton-Bettung ruhn. Seewärts lehnt sich dieses Mauerwerk an eine leichte Bohlenwand, die nicht nur zum Schutz des Fufses, sondern auch zur Einschliefsung des Bétons diente. Diese Construction hat sich nach mehrjährigen Erfahrungen bewährt. Indem die gekrümmte Fläche in die Verticalebene übergeht, so wird das Wasser beim

Auflaufen der Wellen lothrecht in die Höhe geworfen und trifft nur wenig den Aufsendeich. Als ich diesen Bau sah, hatte sich das Ufer dahinter bis unmittelbar an die Mauer gut gehalten, auch hatte das davorliegende Watt sich nicht vertieft.

Eben diese Art der Uferdeckung ist in neuerer Zeit auch zum Schutz des sogenannten Cometen-Forts an der Mündung der Düna zur Ausführung gekommen, nachdem verschiedne Steinböschungen, die man früher versucht hatte, in kurzer Zeit zerstört waren. Dieselbe entspricht sehr nahe der so eben beschriebenen, und auch hier bilden bearbeitete Granitquadern auf Béton versetzt die cylindrisch gekrümmte Fläche. Das Werk soll sich gut erhalten haben, doch waren die Anlagekosten vergleichungsweise zur frühern Bauart sehr bedeutend.

Es dürfte hier die passendste Stelle sein, der in den Jahren 1858 bis 1863 auf der Insel Norderney zum Schutz des Strandes und der Dünen ausgeführten Uferdeckung zu erwähnen. Das Ufer besteht in einer am offnen Meer belegnen Düne, der Untergrund ist ohne Zweifel, wie vor der Insel Wangeroog, Marschboden, wenigstens lassen die Thonkugeln, die man nicht selten auf dem Strande findet, dieses vermuthen, weil dieselben nur von jenem Untergrunde herrühren können, der wahrscheinlich stellenweise vielleicht tief unter Wasser sich steil erhebt und von den Wellen nicht nur abgespült, sondern in gröfseren Massen abgebrochen wird. Die natürliche Düne wurde bei jedem heftigen Sturm stark angegriffen, so dafs sie von Jahr zu Jahr weiter zurückwich, wodurch das sehr besuchte Seebad endlich selbst in Gefahr kam. Um dieses zu erhalten, ist auf der nordwestlichen Seite der Insel in der Länge von 254 Ruthen Rheinl. die Deckung ausgeführt, welche Fig. 61 *a* im Durchschnitt und *b* in der Ansicht von oben zeigt. Dabei wurde Anfangs die aus grofsen Quadern bestehende Steindossirung auf eine Schüttung von zähem Thon oder Kleierde versetzt. Die auflaufenden Wellen spülten jedoch letztere stark aus, und man sah sich daher gezwungen, sie mit einer Bétonlage zu überdecken.

Der Strand erhebt sich hier 4 Fufs über gewöhnliches Hochwasser und fällt, eben so wie der anschliefsende Meeresgrund sehr sanft und regelmäfsig ab, bis er an eine tiefe Rille grenzt, in der bei Fluth und Ebbe starke Strömungen sich bilden. Um zu ver-

hindern, dafs diese Tiefe sich nicht etwa dem Ufer nähern möchte, sind fünf Buhnen davor ausgeführt, die bei Gelegenheit der Einbaue vor dem Strande beschrieben werden sollen.

Der wichtigste Theil dieser Uferdeckung ist die 20 Fufs breite gekrümmte Dossirung. Sie ist unten concav, im obern Theil dagegen convex und besteht aus sorgfältig bearbeiteten und reihenweis versetzten Sandstein-Quadern von $1^1/_2$ bis 2 Fufs Höhe. Ihr Fufs lehnt sich an eine Pfahlwand, neben der die erste Steinschicht besonders tief in den Grund eingreift. In ähnlicher Weise wird diese Dossirung auch in ihrem obern Rand begrenzt. Die Quadern sind auf ein $2^1/_2$ Fufs starkes Bétonbette versetzt.

Seeseitig schliefst sich an diese Steindecke ein 20 Fufs breites Sturzbette an, das der Neigung des Strandes entsprechend sanft abfällt. Es besteht aus einer 3 Fufs hohen Strauchpackung, die mit 2 Fufs hohen, roh bearbeiteten Quadern überdeckt ist. Um letztere in ihrer Lage zu sichern, sind dazwischen vier Flechtzäune gestellt.

Auf der obern Seite lehnt sich an die Steindossirung ein 16 Fufs breites Klinker-Pflaster an, das auf eine dünne Bétonschicht hochkantig gestellt ist, und von einer Reihe aufrecht stehender Klinker umschlossen wird. Dahinter beginnt die planirte und mit Strandhafer bepflanzte Düne, zu deren Schutz die Uferdeckung ausgeführt ist.

In der Mündung der Weser ist in den Jahren 1869 und 1870 eine ähnliche Anlage und zwar zur Sicherung eines Forts ohnfern der südöstlichen Ecke der Insel, oder vielmehr des Watts Lang-Lütjen-Sand zur Ausführung gekommen. Nahe unterhalb Bremerhaven verbreitert sich die Weser so sehr, dafs sie nicht mehr einen Strom, sondern einen Meerbusen bildet, und hier wird sie durch das erwähnte Watt, das nahe zwei Meilen lang und stellenweise eine Meile breit ist, in zwei Arme getrennt. Der rechtseitige, der sich neben dem Ufer der Landdrostei Stade hinzieht, bildet das Hauptfahrwasser, das Wurster Fahrwasser genannt, der linkseitige neben dem Oldenburger Ufer oder das Fedderwarder Fahrwasser, kann nur bei höhern Wasserständen von kleinen Schiffen befahren werden. Dieses Watt selbst ist aber durch eine grofse Anzahl von mehr oder weniger tiefen Rillen, oder sogen. Prielen durchschnitten, welche von Fischerböten benutzt werden.

Die Baustelle selbst, wie das ganze Watt lag nur 4 bis 5 Fufs über gewöhnlichem Niedrigwasser, während der mittlere Fluthwechsel $10^1/_4$ Fufs, bei Springfluthen aber 17 und unter besonders ungünstigen Umständen sogar 23 Fufs beträgt. Die Baustelle konnte also nur während weniger Stunden betreten werden, sie war aber alsdann mit Schlamm bedeckt, in den man tief einsank. Es war ein Gemenge von Kleierde und sehr feinem Sande, der in gröfserer Tiefe vorherrschend wurde. Dazu kam die ganz isolirte und auf allen Seiten durch Wasserläufe getrennte Lage. Die Entfernung vom rechtseitigen Ufer war freilich weniger bedeutend, aber hier verhinderte das Hauptfahrwasser die Verbindung mit dem Festlande, und alles zum Bau erforderliche Material, grofsentheils selbst die Erde zum Anschütten der Wälle mufste aus der Ferne herbeigeführt werden. Anfangs geschah dieses auf Fahrzeugen von wenig Tiefgang, die in die nächsten Priele zur Zeit des Hochwassers einfuhren. Von den Anlegestellen derselben aus mufsten zunächst dammartige Anschüttungen bis zur Baustelle ausgeführt werden, um zu dieser zu gelangen. Später wurden aber theils Dammschüttungen, theils leichte hölzerne Brücken bis zum hohen Aufsendeich vor Blexen auf der Oldenburgischen Seite dargestellt und mit Geleisen versehn, so dafs der Material-Transport nicht nur auf einer Eisenbahn, sondern selbst mit Benutzung kleiner Locomotiven erfolgen konnte.

Es handelte sich hier nur um die Deckung des Fufses der auf dem Watt angeschütteten Wälle, die von allen Seiten vom Wellenschlag, zum Theil auch von der Strömung getroffen werden. Zunächst umgab man die ganze Baustelle mit einem niedrigen Damm, vor den einige Reihen Steine gelegt wurden, doch liefs man eine Oeffnung darin, damit die Fluth ohne den Damm zu beschädigen eintreten, und während der Ebbe das Wasser wieder abfliefsen konnte.

Unter den äufsern Fufs des eigentlichen Walls packte man zunächst Faschinen in der Absicht, dafs sie die Stelle eines liegenden Rostes vertreten sollten. Darüber wurden kleine Steine geschüttet und auf diese Béton gebracht. Auf letzterm ruhten die Sandsteinquadern, welche den untern Theil der Dossirung überdeckten. Diese lehnte sich gegen eine auf beiden Seiten durch Zangen umfafste Pfahlwand, welche nach innen durch Ketten

verankert war. Die Dossirung war bis zur Höhe von 20 Fufs über Niedrigwasser zweifüfsig. Die Bekleidung mit Werkstücken setzte sich noch einige Fufs weiter fort, doch von hier ab mit achtfüfsiger Dossirung, welche auch die anschliefsende Rasenbekleidung hatte. Um letztere gegen den Angriff der Wellen einigermaafsen zu sichern, liefs man in der Linie, wo eine Dossirung in die andre übergeht, die Steine gegen die weiter abwärts liegenden scharf vortreten. Die Quadern waren $1\frac{1}{2}$ Eufs stark, 2 Fufs breit und mindestens 3 Fufs lang. Die ursprünglichen Zufuhrwege zu den Prielen beseitigte man nicht, sondern befestigte sie, damit sie als Buhnen die Strömung neben dem Werk mäfsigen sollten, auch führte man später noch einige neue Buhnen aus, so dafs schliefslich sechs solche das Fort umgaben*).

Endlich mag noch eine eigenthümlich gemauerte Uferdeckung erwähnt werden, die in Algier vor einer, unmittelbar an der Küste liegenden Strafse ausgeführt ist, und wo wegen Mangel an Raum eine flache Böschung nicht darzustellen war. Es konnte nur die einfüfsige Böschung gewählt werden, und da der Erbauer dieselbe stützen wollte, ohne sie vollständig zu untermauern, so stellte er Pfeiler unter ihren obern Theil, und verband diese durch Bogen. An die Bogen schlossen sich cylindrische Kappen an, die in der Neigung von 45 Graden bis zum Fundament hinabliefen. Das im Zusammenhange ausgeführte Fundament trat aber nicht über die Grundflächen der Pfeiler und Zwischenmauern vor. Es zeigte also halbkreisförmige Einschnitte. Die Kehlen zwischen den Kappen wurden mit Bruchsteinen ausgemauert. Dieser Bau, der wegen des mäfsigen Material-Verbrauchs sehr wohlfeil war, soll sich befriedigend erhalten haben. Die Dimensionen desselben sind nicht bekannt**).

Wenn ein Aufsendeich unregelmäfsig abgebrochen ist, und ein breites Watt davor liegt, so kommt es nicht nur darauf an, den weitern Abbruch zu verhindern, sondern man mufs sich auch

---

*) Vorstehende Mittheilungen sind entnommen aus der sehr reservirten Beschreibung dieses Baues, welche der ausführende Ingenieur, Wasserbauinspector Runde, in der Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins Band XVIII (1872) gegeben hat.

**) Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architecten-Vereins. Jahrgang 1866, Seite 242.

bemühn, die tieferen Buchten zur Verlandung zu bringen, und einen regelmäfsig begrenzten Aufsendeich darzustellen, der zugleich mit einer soliden Uferdeckung umgeben ist. Zu diesem Zweck wird das Deckwerk in der beabsichtigten Uferlinie bis über das Watt hinausgeführt, so dafs es in Form eines niedrigen Deichs die zu erhöhende Fläche umschliefst. Es mufs vollständig gesichert sein, weil es einem starken Angriff ausgesetzt ist, auch seine äufsere Böschung den spätern Uferschutz bilden soll. Seine Krone mufs nicht nur das gewöhnliche Hochwasser, sondern auch den Aufsendeich einige Fufs hoch überragen, damit dieser aus den Niederschlägen des eintretenden Fluthwassers sich in voller Höhe ausbilden kann. Endlich mufs das Werk mit mehreren Oeffnungen versehn sein, durch welche das trübe Fluthwasser einströmen und eben so auch das Wasser während der Ebbe abfliefsen kann. In dem umschlossenen, und daher wenig bewegten Wasser erfolgt bei jeder Fluth der Niederschlag der erdigen Theilchen, und dieselben sind dem Abspülen durch Wellenschlag weniger ausgesetzt, als auf dem offnen Watt. In gewöhnlichen Fällen verhindert schon die vortretende Uferdeckung das Uebertreten der Wellen, und bei höheren Fluthen und starken Winden mäfsigt sie die Kraft des Wellenschlages.

Eine Anlage dieser Art, die bereits sehr sichtbare und günstige Erfolge herbeigeführt hat, ist das sogenannte Braaker Uferwerk bei Cuxhaven, das Fig. 62 im Profil darstellt. Das Watt, das ursprünglich vor und hinter diesem Werk gleiche Höhe hatte, befand sich 7 Fufs unter gewöhnlichem Hochwasser, während der Aufsendeich nahe 2 Fufs über das letztere sich erhob. Die Krone, die in eine scharfe Kante ausläuft, liegt 4 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser. Die Oeffnungen, in Abständen von etwa 100 Fufs angebracht, hatten 2 Fufs lichte Weite. Sie waren seitwärts durch leichte Bohlwerke eingeschlossen und in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers mit Bohlen überdeckt, so dafs die Krone des Deckwerks darüber fortlief und zur Zeit der Sturmfluthen keine Stelle vorhanden war, die einem besonders starken Angriff ausgesetzt blieb.

Die ganze Construction ergiebt sich aus der Zeichnung. Die äufsere Böschung hat $2\frac{1}{2}$ fache und die innere $1\frac{1}{2}$ fache Anlage. Der Kern des Werks ist aus der Kleierde des Watts aufgeschüttet,

wobei aber mit Rücksicht auf die zu erwartende Senkung eine bedeutende Ueberhöhung angebracht werden mufste. Der Fufs des Damms wurde auf beiden Seiten sogleich mit Strauch gedeckt und über dieses, so wie vorzugsweise über dem mittlern Theil, eine Lage von Ziegelbrocken und Bauschutt aufgebracht. Letztere war in der Krone $3\frac{1}{2}$ Fufs stark. Eine Reihe eichener Pfähle von 7 Fufs Länge und 8 Zoll Durchmesser befindet sich in der Krone, und da diese Pfähle über 2 Fufs von einander entfernt sind, so wurden noch 2 Gänge eichener Bohlen daran genagelt, um die beiderseitigen Dossirungen sicher von einander zu trennen. Aufserdem befinden sich in der äufsern Böschung noch drei und in der innern zwei Pfahlreihen. Hiezu ist jedoch nur Kiefernholz verwendet, auch sind die Pfähle mit Ausschlufs derjenigen am Fufs der innern Dossirung nur 6 Fufs lang und 6 Zoll stark. Die Steindecke endlich besteht aus schweren Geschieben, die auf der äufsern Böschung 18 und auf der innern 15 Zoll hoch sind. Vor dem Fufs der letztern liegt eine Schüttung von losen kleinern Steinen.

Es kann nicht fehlen, dafs das Wasser, welches an bestimmten Stellen stets aus- und einfliefst, tiefe Rinnen oder Baljen bildet. Solche waren in diesem Fall auch wirklich entstanden, indem jedoch bei der zunehmenden Erhöhung des Bodens die ein- und ausströmende Wassermenge sich fortwährend vermindert, so ist nicht zu besorgen, dafs die Einrisse sich vergrössern, vielmehr darf man erwarten, dafs sie mit der Zeit geringere Dimensionen annehmen werden, und wenn endlich die beabsichtigte Erhöhung im Allgemeinen eingetreten ist, so hindert nichts, diese Rinnen durch unmittelbare Verfüllung mit Erde, die man von dem äufsern Watt entnimmt, vollständig zu schliefsen.

Eine Anlage, die der beschriebenen sehr ähnlich ist, wurde vor zwanzig Jahren neben der Mündung des Kriegshafens an der Jade ausgeführt. Da jedoch hier sehr heftige Angriffe durch Wellenschlag besorgt werden mufsten, auch das Watt stellenweise nur geringe Ausdehnung vor diesem Bau behielt, so schien die so eben beschriebene Construction in mancher Beziehung nicht hinreichend gesichert. Zu diesem Zweck erhielt die äufsere Böschung 4fache und die innere 2fache Anlage, auch wurde zwischen beiden noch eine 12 Fufs breite Krone angebracht. Endlich mufste

der ganze Kern, sobald er angeschüttet war, sogleich mit Strauch überdeckt werden, und um dieses schon vor dem Aufbringen der Steindecke, also während die Erdschüttung noch nicht fest lagerte, gegen Zerstörung zu sichern, wurden Pfahlreihen in bedeutend geringeren Entfernungen angebracht.

Von den Uferdeckungen, die unmittelbar vor dem Fufs der Deiche nöthig werden, und die deshalb von besondrer Wichtigkeit sind, ist bereits § 17 die Rede gewesen. Es wurden dabei auch verschiedne Holzconstructionen mitgetheilt, die in den Niederlanden zur Ausführung gekommen sind. Um Wiederholungen zu vermeiden, kann hier um so mehr darüber fortgegangen werden, als die überaus wichtige Vertheidigung des Hondsbosches und der Dünen bei Petten noch besonders beschrieben werden sollen. Dabei mufs jedoch eine principielle Frage berührt werden, die von grofser Bedeutung zu sein scheint.

Vielfach hat man in den Niederlanden senkrechte oder doch nahe senkrechte Holzwände an den Rand des Ufers gestellt, um das dahinter liegende Land oder den Fufs der Deiche oder der Dünen gegen den Stofs der Wellen zu sichern, und ohne Zweifel haben solche auch günstige Erfolge gezeigt, wenn gleich die sichere Aufstellung derselben nicht leicht ist, auch manche Nachtheile dabei unverkennbar eintreten. Die Anordnung ist dabei im Allgemeinen diese, dafs starke beschlagene Hölzer möglichst dicht schliefsend neben einander eingerammt, auf der Landseite durch eine oder zwei Zangen mit einander verbunden und letztere durch schräge eingerammte oder in andrer Weise befestigte Stützen abgesteift werden. Um aber den starken Ausspülungen vorzubeugen, welche das dagegen hoch aufspritzende Wasser beim Herabfallen veranlassen würde, mufs der Strand vor den Wänden abgepflastert und dahinter noch eine Steinkiste angebracht werden, welche landseitig von einer zweiten schwächern und niedrigern Pfahlwand umschlossen wird. Fig. 33 auf Tafel V, wie auch Fig. 74 auf Tafel XII zeigen diese Anordnung.

Als der Vorstand des Uferschutzes am Hondsbosch und der Dünen bei Petten im Januar 1864 die Preisfrage ausgeschrieben hatte, in welcher Weise dieses Ufer am sichersten geschützt werden könne, empfahl J. F. W. Conrad, der den Preis erhielt, statt der bisher üblichen dichten Pfahlwände, durchbrochene, oder

wie er sie nannte, offene Pfahlwände anzuwenden, in welchen ein Pfahl um den andern nur bis zur vollen Höhe heraufreicht. Man hatte schon 1861, wahrscheinlich auf Veranlassung von Conrad, der damals Ingenieur I. Classe des Wasserstaates war, bei Petten einen Versuch hierüber angestellt, indem an einer zwischenliegenden Stelle, wo die Wand zerschlagen war, dieselbe in der Art erneut wurde, wie Fig. 77 *a* und *b* im Querschnitt und in der Ansicht von der Seeseite zeigt.

Die Erfolge dieser Aenderung waren, als ich das Ufer im Sommer 1863 sah, nicht nur sehr augenfällig, sondern sogar überraschend günstig, indem sowol der Strand davor, also zwischen den Einbauen, als auch die Sandablagerung am Fuſs der Dünen sich um einige Fuſs erhöht hatten. Auf beiden Seiten, wo die dichten Wände noch bestanden, lag der Sand, hier wie dort, auffallend niedriger. Der Aufseher meinte zwar, daſs ähnliche günstige Erfolge schon früher stellenweise sich oft wiederholt hätten, daſs sie aber immer bald wieder verschwunden wären und man daher auch jetzt kein Gewicht darauf legen dürfe. Mir schien die neue Anordnung sehr zweckmäſsig und das Resultat ganz in Uebereinstimmung mit demjenigen zu sein, das beim Dünenbau stets eintritt, daſs nämlich die durchsichtige Wand den vom Winde antreibenden Sand auffängt, während die dichte Wand ihn hinüber fliegen läſst und sogar eine tiefe Rinne davor erzeugt. Die Bewegung des Wassers, wie der Luft, darf nicht vollständig unterbrochen, sondern nur gemäſsigt werden. Geschieht dieses, so lassen die Wellen den mitgeführten Sand fallen, während sie vor der dichten Wand, wenn sie dieselbe normal treffen, nur darüber ausweichen können, also eine aufwärts gerichtete Bewegung annehmen, wobei sie einen starken Druck auf den Boden ausüben. Treffen sie aber schräge gegen die dichte Wand, so bildet sich vor derselben eine heftige Strömung, welche eine tiefe Rinne bildet.

Dieses deutet auch Conrad an, doch nennt er noch andre Gründe für das Aufgeben der dichten und die Annahme der offnen Wand*). Seine Aeuſserung in Beziehung auf die erste

*) Verhandeling over de Hondsbossche Zeewering door J. F. W. Conrad. Gedruckt bei Herm. Coster en Zoon, Alkmar, ohne Angabe der Jahreszahl.

setzt diejenige Anordnung voraus, die in Fig. 74 *a* dargestellt ist.

1) Die dichte und nahe lothrecht stehende Pfahlwand wird vom vollen Wellenschlag stark angegriffen und allein durch die Steinkiste und durch die gegen die Zange lehnenden Stützen gehalten. Die Erfahrung lehrt aber, dafs bei jedem Sturm die Kisten sacken und die Verbindung mit den Stützen gelockert wird.

2) Die gegen die Wand laufenden Wellen werfen oft 15 bis 20 Fufs hoch das Wasser auf. Wenn es aber herabfällt, so ist die Welle schon zurückgetreten und es trifft mit grofser Gewalt die unbedeckte Risberme. Hierdurch entstehn hier grofse Beschädigungen, welche sich selbst auf die Wurzeln der Einbaue ausdehnen.

3) Bei Seewinden, die bei starkem Wellenschlag meist vorkommen, wird das aufspritzende Wasser nicht nur bis zur Krone des dahinter liegenden Deichs, sondern selbst bis zu seiner Binnendossirung getrieben. Das Seewasser schädigt alsdann die Grasnarbe.

4) Innerhalb der Pfahlwand sammelt sich das Wasser 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs hoch an und drückt die Pfähle seewärts, während beim Anlaufen der neuen Welle der entgegengesetzte Druck sich bildet. Dieses abwechselnde Hin- und Herdrängen der Wand lockert vollends die Verbindung mit der Kiste und mit den Stützen.

5) Dem binnenseitig angesammelten Wasser mufs durch Oeffnungen in der Wand (Slopgaten) der Abflufs nach der See frei gemacht werden. Hierdurch entstehn tiefe Rinnen, namentlich in den Oeffnungen selbst, wodurch die nächsten Theile der Wand in Gefahr kommen.

6) Bei ruhiger See und anhaltendem Landwinde bildet sich oft stellenweise und namentlich auf der Windseite eine Sandablagerung bis zur Höhe der Wand, welche gegen diese nicht nur in nachtheiliger Weise drückt, sondern auch das schnelle Verrotten des Holzes zur Folge hat.

Um diesen Uebelständen zu begegnen, sollen offne Pfahlwände gewählt werden, in welchen jedoch die Köpfe der niedrigern Pfähle weder über die davor liegende Steindossirung, noch über die Kisten dahinter vortreten. Sie sollen sich nur 5 Fufs über Hochwasser erheben, während die längeren Pfähle $9\frac{1}{2}$ Fufs

über Hochwasser stehn. Diese Anordnung stimmt sonach nicht mit der bei den frühern Versuchen gewählten überein, die Fig. 77 zeigt, sie ist aber im Querprofil des Sanddeichs Taf. VI, Fig. 35. A angedeutet, woselbst die längeren Pfähle über der seeseitigen Steindossirung die offene Wand bilden.

Gegen eine solche Wand, welche nur die Hälfte ihrer Fläche den Wellen entgegensetzt, ist der Stofs viel geringer, woher sie mit gröfsrer Sicherheit sich erhalten läfst. Sodann nimmt das Wasser beim Anstofsen an dieselbe nicht mehr die aufwärts gerichtete Bewegung an und das hohe Aufspritzen nebst den Wirkungen des herabfallenden Wassers verschwinden. Ferner fliefst das hindurchgedrungene Wasser unbehindert über alle niedrigen Pfähle ab, die Rinnenbildung hinter der Wand hört also auf und die weiten Abflufs-Oeffnungen sind entbehrlich. Ebenso bemerkt man auch nicht mehr das Versacken der Steinkisten und die Lockerung der Verbindung der Wände. Endlich erfolgt bei dieser Anordnung eine gleichmäfsige Verbreitung des antreibenden Sandes.

Schon als die neue Bauart versuchsweise eingeführt wurde, sprach man die Besorgnifs aus, dafs der unmittelbar dahinter liegende Sanddeich einem stärkern Angriff, als bisher, ausgesetzt sein würde. Sorgfältige Untersuchungen zeigten indessen, dafs selbst heftige Stürme hier keine stärkern Beschädigungen veranlafst hatten, als hinter dichten Wänden. Dagegen führten diese Wahrnehmungen doch zu manchen Aenderungen der Construction. Namentlich schien es nöthig, die äufsere Steindossirung, wie bereits erwähnt ist, höher heraufzuführen. Ferner wurde die Steinkiste durch eine starke Bettung von Thon, auf der sie ruhte, noch gegen das Versacken gesichert. An die Kiste mufste aber, wie Fig. 35 A zeigt, ein starkes Pflaster, in Thon versetzt, angeschlossen werden, damit das durch die Oeffnungen der Pfahlwand eindringende Wasser den Boden nicht angreift. Endlich bemerkte man noch, dafs auch für die offene Wand die Verbindung der Pfähle durch die rückwärts angebolzte Zange nicht genügte, vielmehr letztere noch gegen schräge gestellte Stützen gelehnt werden mufste. Diese Stützen, die in der Zeichnung noch fehlen, bestanden aber nicht mehr aus schräge eingerammten Pfählen, wie Fig. 74 *b* zeigt, vielmehr waren es Balken, deren Fufs man an kurze, senkrecht eingerammte Pfähle bolzte.

Eine besondre Erwähnung verdienen noch die an der Ostsee ausgeführten Uferdeckungen. Die Wattenbildung fehlt hier vollständig, der Strand aus Sand oder Kies, und vor Kreideufern aus Feuerstein-Gerölle bestehend, setzt sich meist in flacher Neigung bis zu grofser Tiefe fort, während die Abdachung durch die verschiedenen darüber vortretenden Riffe unterbrochen wird (§ 6). Bei heftigen Winden bildet sich ein starker Wellenschlag gegen das Ufer, und sich selbst überlassen, bricht dieses ab und weicht von Jahr zu Jahr weiter zurück. Das dahinter liegende Land ist von zu geringem Werth, als dafs grofse Kosten für seine Erhaltung verwendet werden dürften. Man hat bisher nur einzelne Punkte gedeckt, um nahe dahinter stehende wichtige Gebäude zu sichern. Erst in neuer Zeit ist angefangen, einzelne besonders weit vorspringende Punkte, die gewöhnlich aus lehmigen Ufern bestehn und daher weniger schnell zurückgewichen sind, zu halten, und dadurch auch den zwischenliegenden Strecken einigen Schutz zu gewähren. In diesem Fall hat man sich aber darauf beschränkt, sehr einfache buhnenartige Einbaue in die See zu führen, ohne das Ufer selbst zu decken. Hiervon wird bei Gelegenheit der Einbaue die Rede sein.

Ueberaus einfach ist die Deckung des 197 Fufs hohen Ufers vor dem Leuchtthurm Arcona auf der Insel Rügen. Die Kreide geht an dieser Stelle in eine sehr zähe und feste Thonablagerung über. Der Boden ist daher von solcher Beschaffenheit, dafs er vom Wasser nicht durchdrungen wird, während auch das darüber fliefsende Wasser ihn nur wenig angreift. Ein starker Wellenschlag löst dagegen gröfsere Massen ab, und dasselbe veranlassen auch die Quellen. Diese Zerstörungen erfolgen gegenwärtig noch an dem daneben befindlichen ungedeckten Kreidefelsen, auf dem die alte Burg Arcona stand.

Als im Jahr 1826 der Leuchtthurm gebaut wurde, mufste das etwa 50 Ruthen davon entfernte nächste Ufer gesichert werden, und dieses ist in der Art geschehn, dafs man aus den Granitgeschieben, die zahlreich und in grossen Dimensionen davor lagen, ein starkes Pflaster gebildet hat, welches die etwa 30 Grade gegen den Horizont geneigte Böschung bis zur Höhe von 20 Fufs über dem Meeresspiegel, also so weit, als die Wirkung der Wellen reicht, überdeckt. Die einzelnen Steine halten mehrere Cubikfufs,

und für ihre Sicherung ist vorzugsweise dadurch gesorgt, dafs man ihnen durch Abstechen des Untergrundes gut schliefsende Lager gegeben hat, auch nicht zu weite Fugen zwischen ihnen gelassen sind. Aufserdem lehnt der Fufs der Steinböschung sich gegen eine Reihe kurzer Pfähle. Eine Vertiefung davor sollte theils durch die hier noch liegenden Granitblöcke und vorzugsweise wohl durch den Kreideboden verhindert werden, der unter Wasser grofse Festigkeit behält. Etwa 40 Jahre hindurch hat sich diese Deckung auch erhalten, obwohl häufig Ausbesserungen nöthig wurden, indem stellenweise Versackungen eintraten. In der letzten Zeit glitt aber das Pflaster so bedenklich herab, dafs man sich genöthigt sah, ein Banket vor dem Fufs auszuführen und zugleich im Anschlufs an dasselbe einige Buhnen zu erbauen, um einer stärkern Vertiefung vorzubeugen.

Noch an einigen andern Stellen der Pommerschen Küste hat man einzelne Punkte, deren Erhaltung besonders wichtig war, durch Deckung der hohen thonigen Ufer zu sichern begonnen. Vorzugsweise gehört hieher der Streckelberg, etwa 3 Meilen westlich von Swinemünde, auf dem eine Landmarke steht, die für die Schiffahrt von grofser Bedeutung ist. Die hier zuerst ausgeführte Uferdeckung genügte indessen nicht, weil unmittelbar daneben eine tiefe Rinne sich bildete, welche das Steinwerk bedrohte. Seitdem hat man eine Anzahl Einbaue davor in die See geführt, die grofse Sandmassen aufgefangen haben. Hiervon wird bei Gelegenheit der Einbaue die Rede sein.

In der letzten Zeit hat man auch angefangen, das 40 bis 60 Fufs hohe und steil abfallende Lehmufer bei Heringsdorf, $1^1/_2$ Meile westlich von Swinemünde, durch Mauern aus Bruchsteinen gegen den Wellenschlag zu schützen. Indem ein breiter Strand davor liegt, haben diese ihren Zweck erfüllt, und wenn bei starkem Seegang der Strand sich auch auffallend erniedrigt, so bildet sich vor ihnen doch keine besondre Tiefe aus, und Unterspülungen sind nur an solchen Stellen eingetreten, wo die ohne Fundirung ausgeführten Mauern nicht bis zum Niveau des mittlern Standes der See herabreichten, sondern etwa 4 Fufs darüber auf der Sandablagerung standen.

Wenn man ein Ufer, das nur aus Seesand besteht oder doch nur in geringem Maafse thonige Beimengung enthält,

durch ein Deckwerk sichern will, so kommt der bereits erwähnte Umstand wesentlich in Betracht, daſs die Wassermasse der aufschlagenden Welle nur zum Theil darüber zurückfliesst, vorzugsweise aber sich zwischen den Steinen und über dem Untergrunde hindurchzieht. Es bildet sich also hier eine abwärts gerichtete starke Strömung, wobei der Sand vielfach mit fortgerissen wird, und sonach leicht Einrisse und Lücken entstehn, in welche die Steine herabsinken.

Die in Fig. 63 dargestellte Construction, wonach das Deckwerk in einer einzigen Steinlage besteht, ist auf sandigem Untergrunde keineswegs sicher. Bei starkem Seegang genügt es auch nicht, ein Strauchbett und selbst eine Kiesschüttung darunter zu legen, oder ihr eine sehr flache Neigung zu geben, vielmehr hält sie sich nur, wenn das beim Wellenschlag aufgeworfene Wasser so weite Zwischenräume findet, daſs es durch diese, ohne den Untergrund anzugreifen, mit Leichtigkeit bis zum jedesmaligen Wasserspiegel, also bis zum Niveau des Thals zwischen zwei Wellen hindurchdringen kann. Dieses geschieht bei der Fig. 64 dargestellten Anordnung. Die ganze Steinböschung, soweit sie von den Wellen getroffen wird, muſs auf einer Steinschüttung ruhn, die sich hinreichend tief unter den Meeresspiegel fortsetzt. Die Zwischenräume der Schüttung sind alsdann von genügender Weite, um die ganze aufschlagende Wassermasse wieder abzuführen. Der Untergrund wird dabei dem Angriff vollständig entzogen.

Das westliche Ufer vor Pillau ist mit Stein-Böschungen eingefaſst, die sehr verschiedene Neigungen haben. Ein Theil war mit dreifacher Anlage sehr sorgfältig ausgeführt, und obwohl er bei seiner mehr geschützten Lage dem Wellenschlag weniger ausgesetzt war, so wurde er doch in einem heftigen Sturm im Jahr 1825 vollständig zerstört, während eine viel steilere Böschung mit einfacher und sogar mit einhalbfacher Anlage daneben, die noch härter getroffen wurde, sich unversehrt erhielt. Die Ursache der verschiedenen Wirkungen lag augenscheinlich in der verschiedenartigen Unterlage. Wo diese aus der tief herabreichenden Steinschüttung bestand, wurde die Böschung nicht angegriffen.

Wenn ein Ufer zu decken ist, an welches S c h i f f e a n l e g e n sollen, so darf die Steinschüttung nicht bis zur vollen Tiefe sich fortsetzen, vielmehr muss sie in der Höhe des mittlern

Wasserstandes sich gegen eine senkrechte oder doch sehr steile Wand lehnen. Indem sie aber von hier bis zur Uferhöhe mit einfüfsiger oder noch flacheren Böschung ansteigt, so übt sie gegen jene Wand nur einen mäfsigen Druck aus, und aus diesem Grunde empfiehlt eine solche Construction sich vorzugsweise, wenn es darauf ankommt, eine solide Uferdeckung mit geringen Kosten darzustellen, die auch das Anlegen der Schiffe nicht hindert. Nichts desto weniger wird man an solchen Stellen, die einem heftigen Wellenschlag ausgesetzt sind, hiervon keinen Gebrauch machen dürfen. In Häfen sind Anordnungen dieser Art schon seit langer Zeit üblich. Als man in den Ostseehäfen diejenigen Ufer, die von den Wellen getroffen wurden, durch Steinkisten deckte, wurden Steinpackungen darüber angebracht, die man gewöhnlich abpflasterte. In neuerer Zeit lehnt man dagegen in solchem Fall die Steinböschung an den Fachbaum einer verankerten Spundwand. So wurde in Pillau die Anlegestelle vor dem ehemaligen Ballast-Platz auf dem Russischen Damm nahe vor 50 Jahren in dieser Weise dargestellt. Dieselbe hat sich seitdem ohne namhafte Beschädigungen erhalten, wenn freilich der Ballastverkehr daselbst später aufhörte. Es wurde auch schon damals dafür gesorgt, dieses Ufer, wo es gerade nöthig war, mit dem davor liegenden Schiffe in Verbindung zu setzen. Um nämlich die Bügel oder auch die Köpfe der Anker vor den Jochbäumen zu überdecken, mufsten Pfähle davor gerammt werden, und indem diese durch aufgezapfte Holme mit einander verbunden wurden, so liefsen sich sehr bequem leichte Brücken vom Ufer aus bis zu diesen Holmen darstellen.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dafs auch diese Steinböschungen, wenn sie zuweilen dem Wellenschlag ausgesetzt sind, gleichfalls gegen das Unterspülen gesichert werden müssen, indem man dem aufschlagenden Wasser Gelegenheit bietet, ohne Berührung des Untergrundes zwischen den darauf liegenden Steinen abzufliefsen.

Als Beispiel solcher Anlage ist in Fig. 105 *b* auf Taf. XVII das Quer-Profil des gegenwärtig (1877) in der Ausführung begriffenen Abschlufsdammes des Petroleum-Hafens ostwärts vom Russischen Damm in Pillau dargestellt. Die ursprüngliche Wassertiefe an dieser Stelle blieb meist unter 10 Fufs, im Hafen

mufs dieselbe durch Baggern bedeutend vergröfsert werden, es ist daher hier, wie die Figur an der rechten Seite zeigt, eine starke Spundwand eingerammt. In der Höhe des Wasserstandes lehnt sich dieselbe gegen eine Zange, welche die Stelle des Fachbaums vertritt, und rückwärts durch eiserne Stabanker gehalten wird. Vor der Zange befinden sich schräge Pfähle, an welche die Schiffe anlegen, und auf den Holmen derselben ruht die einfache Ladebrücke. Die Steinschüttung unter der abgepflasterten Böschung besteht aus klein geschlagenen Graniten von solcher Grösse, wie man sie zum Béton zu verwenden pflegt. Diese Schüttung setzt sich abwärts hinter der Spundwand in $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fufs Stärke fort, um die Erdschüttung daneben bei eintretendem Wellenschlag gegen Ausspülung zu sichern. In gleicher Weise werden gegenwärtig im Pillauer Hafen auch gewöhnliche Bohlwerke gesichert, und man hat bemerkt, dafs hierdurch das Einstürzen der Hinterfüllungserde wesentlich verhindert wird. Noch mag erwähnt werden, dafs auf dieser Seite des Profils die über dem Anker dargestellte Mauermasse zur Befestigung eines starken Schiffsringes dient, und dafs dieselbe im Grundrifs ein Quadrat bildet.

Auf der äufsern Seite, die dem Haff zugekehrt ist, wird der Damm zuweilen von stärkeren Wellen getroffen. Um ihn gegen dieselben zu sichern, wird zunächst mit einer Schüttung gröfserer Steine begonnen. Da jedoch eine innere flache Dossirung derselben nach Vollendung des Dammes ohne Zweck sein würde, so hat man vorher eine leichte Wand von eingerammten und unter sich schwach verbundenen Brettern dargestellt, die in gleichem Maafse auf der äufsern Seite mit den erwähnten Steinen und auf der innern mit ausgebaggertem Sandboden hinterfüllt wird. Dieselbe ist daher von keiner Seite einem starken Druck ausgesetzt, und hierdurch rechtfertigte sich ihre leichte Zusammensetzung, welche überdiefs den Vortheil bietet, dafs sie nach und nach bequem gehoben und schliefslich ganz entfernt, und in gleicher Weise an einer andern Stelle wieder benutzt werden kann.

Die Krone der erwähnten Stein-Schüttung liegt in der Höhe des mittleren Wasserstandes und ist 4 Fufs breit. Sollte daher durch Vertiefung des Grundes oder durch das dagegen treibende Eis die Böschung leiden, so kommt dadurch die obere abgepflasterte Dossirung noch nicht sogleich in Gefahr. Letztere besteht wieder,

wie auf der andern Seite aus einem Pflaster, das auf Steinschlag ruht.

Mehrfach und namentlich in den Niederlanden sind auch Senkstücke mit Steindecke zum Uferschutz verwendet (Theil II. § 37). Wenn dieselben in ihrer Anwendung beim Seebau auch am passendsten bei Gelegenheit der Hafendämme ihre Stelle finden werden, so sind doch manche Eigenthümlichkeiten, die im vorliegenden Fall nicht unbeachtet bleiben dürfen, schon hier zu erwähnen.

Die Dimensionen der Senkstücke werden nach der Neigung des Ufers bestimmt, und es hindert nichts, ihnen an einer Seite eine gröfsere Höhe, als an der andern zu geben. Hierdurch lassen sich die Unregelmäfsigkeiten des Bodens ausgleichen. Es ist jedoch nicht nothwendig, die Vorsicht in dieser Beziehung zu weit zu treiben, da eines Theils einzelne dazwischen oder vor dem Ufer freibleibende leere Räume sehr bequem und ganz sicher durch das Senkmaterial ausgefüllt werden können, andern Theils aber auch eine mäfsige Neigung in der Oberfläche der Senkstücke ohne Nachtheil ist, wenn nur die Abweichung von der Horizontal-Ebene nicht so grofs wird, dafs der Kies oder die Steine, die man zur Versenkung benutzt, oder die zur Bildung der Böschung dienen, von dem Stück herabrollen. Wichtiger ist es, darauf zu achten, dafs die verschiedenen Lagen der Senkstücke, die über einander aufgebracht werden, sich in den Stöfsen überdecken, und sonach einen guten Verband darstellen.

Man beginnt in diesem Fall, wie bei allen sonstigen Uferdeckungen nothwendig ist, mit einer sorgfältigen Tiefenmessung, um die Quer-Profile in dem Abstande von einigen Ruthen von einander zu erhalten. In die Zeichnung derselben trägt man die beabsichtigte Krone des Deckwerks oder die Linie des regulirten Ufers und die äufsere Böschung ein. Letztere hat gemeinhin eine zwei- bis dreifache Anlage. Steiler wählt man sie gewöhnlich nicht, weil sonst die Stücke zu wenig vor einander vortreten, und sonach die auf den äufsern Rändern liegenden Steine zu leicht herabfallen. Auch könnte die sehr steile Böschung zu einer starken Vertiefung Veranlassung geben, falls zu Zeiten eine heftige Strömung vorbeiginge. Fig. 65 zeigt ein solches Deckwerk mit zweifacher Anlage im Querschnitt.

Bei Anordnung der verschiedenen Senkstück-Lagen ist der mittlere Wasserstand zu berücksichtigen, unter welchen die Ostsee nur selten, und auch alsdann nur wenig, herabzusinken pflegt. Alles Strauchwerk, also mit Einschlufs der Oberflächen der Senkstücke, mufs nach erfolgter Compression wenigstens 1 Fufs unter diesem Niveau bleiben. Hiervon ausgehend, trägt man in alle Profile die Senkstück-Lagen ein, von denen jede etwa 4 Fufs hoch ist. Die gröfsten Unregelmäfsigkeiten des Grundes werden schon durch die verschiedene Dicke der untern Lage ausgeglichen. Man darf jedoch die Stücke nicht etwa in einen scharfen Keil auslaufen lassen, vielmehr fordert die Bequemlichkeit und Sicherheit der Construction, dafs die Dicke des noch nicht comprimirten Stücks überall wenigstens 2 Fufs mifst. Wenn dabei die Regelmäfsigkeit des Baues auch zu leiden scheint, so darf man nicht vergessen, dafs die Senkstücke weiche und biegsame Massen sind, die sich allen Unebenheiten der Unterlage anschliefsen und aufserdem sehr stark comprimirt werden. Ueberdiefs mufs das Beschwerungsmaterial reichlich aufgebracht werden, und mit demselben füllen sich nicht nur die Fugen, sondern auch die zufälligen Vertiefungen in den Lagen. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man aufser diesen Querprofilen auch eine Situationszeichnung mit Angabe der verschiedenen horizontalen Tiefenlinien aufnehmen mufs, und nach der letztern werden die Längen der Senkstücke in den verschiedenen Lagen bestimmt. Dabei mufs der Verband, oder die Ueberdeckung jeder Stofsfuge beachtet werden, auch sind die Fugen wenigstens 1 Fufs, und in tiefern Lagen bis 2 Fufs breit anzunehmen, weil die Senkstücke, welche eine Schicht bilden, mit Sicherheit sich nicht näher an einander legen lassen. Das S e n k m a t e r i a l wird gemeinhin in solcher Höhe aufgebracht, dafs es den Raum anfüllt, der durch die Compression des beschwerten Senkstücks frei wird. Man pflegt anzunehmen, dafs das Stück, welches schon beim Abbinden etwas comprimirt wurde, später zwei Drittheile der Höhe behält, und hiernach mufs die Schicht des Senkmaterials halb so hoch, als das comprimirte Senkstück sein. Dieses gilt jedoch nur für schwächere Belastungen, aufserdem ist aber auch die Beschaffenheit des Strauchs und des Senkmaterials dabei von wesentlichem Einflufs. Je weniger von dem Letztern in das Stück hineinfällt, um so stärker comprimirt sich dieses.

Die Breite jedes Stücks wird so gewählt, dafs sein oberer Rand nach erfolgter Compression die beabsichtigte Böschung noch nicht berührt und sich rückwärts gegen das natürliche Ufer lehnt. Es ist jedoch ohne Nachtheil, wenn dazwischen auch ein bedeutender Raum frei bleibt, denn Letzterer kann, insofern er vollständig geschützt ist, mit leichtem Material, also etwa mit Sand ausgefüllt werden.

Die Senkstücke müssen mit den vordern Rändern von der Böschung soweit entfernt sein, dafs die Steindossirung sie vollständig überdeckt. Hiervon macht nur die untere Lage eine Ausnahme, weil diese die Dossirung abschneidet. Man läfst zwar zuweilen die Steinschüttung noch weiter vortreten, da jedoch in diesem Fall die Steine nur auf dem Sande liegen, und dieser leicht fortgespült wird, so wäre zu besorgen, dafs sie bald versinken.

Was die fernere Ausführung eines solchen Baues betrifft, so wird dieselbe bei Gelegenheit der aus Senkstücken gebildeten Hafendämme eingehend mitgetheilt werden. Die Steine zur Ueberpflasterung der Kronen wie der Dossirungen über Wasser, und zwar eben sowol bei der letzterwähnten Bauart, als auch bei Steinschüttungen, müssen so grofs und schwer sein, dafs sie von den Wellen nicht leicht ausgehoben werden, und dieses wird am sichersten dadurch vermieden, dafs das Versinken einzelner Steine verhindert oder jedem Stein ein möglichst sicheres und gut schliefsendes Lager gegeben wird. Indem gemeinhin grofse und gesprengte Blöcke angewendet werden, so empfiehlt es sich, die Steine mit den ebenen Flächen aufliegen zu lassen. Der Bau erhält dadurch freilich ein unregelmäfsiges Ansehn, indem die unebensten Flächen aufwärts gekehrt sind, aber wenn das Entgegengesetzte geschieht und man die ebenen Flächen aufwärts kehrt, so kann das Lager nicht gehörig gesichert werden, und die Unregelmäfsigkeit wird bald viel gröfser, als im ersten Fall. Vorragende Theile der Steine, die den Schlufs verhindern würden, werden durch Abschlagen beseitigt, es ist aber zwecklos, die Fugen durch eingetriebene keilförmige Steinstücke oder durch aufgeschütteten Kies zu füllen, weil diese von den Wellen bald herausgeworfen werden.

§ 22.

Einbaue vor Deichen.

Die Bauwerke, von denen hier die Rede sein soll, stimmen in ihrer Anordnung und ihren Wirkungen nahe mit den Buhnen an den oberländischen Strömen überein. Dieselbe Benennung würde daher auch für diese Art der Seebauten die angemessenste sein, wenn sie irgendwo an den Meeresküsten üblich wäre. Dieses ist aber nicht der Fall, denn aufser der ganz allgemeinen Bezeichnung, die zur Ueberschrift gewählt ist, und welche bereits Woltman eingeführt hat, giebt es kein Wort in der deutschen Sprache, das die ganze Classe umfafst. An der Deutschen Nordsee-Küste nennt man einen Einbau aus starkem Holz ein Höft, aus Strauch und schwächeren Pfählen ein Stack, und wenn das Werk aus Faschinen gepackt, gehörig beschwert und mit Steinen oder in andrer Weise abgedeckt ist, eine Schlenge.

Die Einbaue vor dem Strande, also am offnen Meer, haben besonders den Zweck, den Wellenschlag zu mäfsigen und den vorbeitreibenden Sand aufzufangen, vor Deichen, also neben den Watten, sollen sie dagegen die tieferen Rinnen, die bei Fluth und Ebbe heftig durchströmt werden, von den Ufern entfernen. In diesem Fall, von dem zunächst die Rede ist, dienen sie also zur Regulirung der Strömung und sonach stimmt auch ihr Zweck mit dem der Buhnen an Strömen überein, aber ein wesentlicher Unterschied beider beruht darin, dafs die Strom-Regulirung, welche man durch die Buhnen herbeiführen will, nur das Mittel zu einem entfernteren Zweck ist, nämlich zur Erzeugung der für die Schiffahrt erforderlichen Tiefe. Diese Absicht liegt dagegen bei den Anlagen, von denen hier die Rede ist, niemals vor, weil die Werke nur die grössere Tiefe beseitigen, wenigstens von dem Ufer entfernen sollen. Das Schiffahrts-Interesse kommt aber bei ihnen wohl nur unter besondern Verhältnissen in Betracht. Dieses geschieht zum Beispiel in den Strom-Mündungen, doch gehören sie alsdann nicht in diesen Abschnitt, der von der Sicherung der Meeresufer handelt. Man pflegt in solchem Fall auch nicht sowol Buhnen, als Parallelwerke auszuführen, die das Fahrwasser zur Seite gleichmäfsig be-

grenzen. Diescs sind vorzugsweise die Hafendämme oder Molen, von denen später die Rede sein wird. Aufserdem findet zwischen den Einbauen am Meer und an Strömen noch der wesentliche Unterschied statt, dafs die Entfernung, bis zu der sie im letzten Fall vortreten dürfen, durch die Breite bedingt wird, die das Strombette behalten mufs, wenn der Zweck der Stromregulirung erfüllt werden soll. Am Meer dagegen giebt es für die Einschränkung keine Grenze, und man kann die Werke bis zu jeder beliebigen Entfernung verlängern, ohne dafs man besorgen darf, irgend eine nachtheilige Profil-Beschränkung zu veranlassen. Damit die Werke sich aber möglichst gegenseitig schützen und unterstützen, und der durch sie zurückgedrängte Strom sich regelmäfsig ausbildet, müssen ihre Köpfe in eine angemessen gewählte Linie fallen. Man kann eine solche nicht mehr Uferlinie nennen, weil es nicht leicht gelingt, das Ufer bis an sie auszudehnen, vielmehr gemeinhin die Einbaue dauernd ihre freie Lage behalten, und man mit ihren Wirkungen schon zufrieden sein mufs, wenn sie nur den weitern Abbruch des Wattes oder Strandes verhindern, oder äufsersten Falls einige Verbreitung und Erhöhung desselben zur Folge haben.

Die Einbaue sind im Allgemeinen am wirksamsten und mäfsigen vorzugsweise die Strömung und den Wellenschlag vor dem Ufer, wenn sie recht lang sind, oder wenn die durch ihre Köpfe gelegte Streichlinie recht weit vortritt. Die Schwierigkeiten und Kosten des Baues nehmen aber theils mit der Länge und theils mit der Tiefe in so hohem Grade zu, dafs man den Abstand jener Linie vom Ufer jedesmal auf das geringste Maafs zu beschränken sucht. Dieselbe Rücksicht darf auch bei Beurtheilung der Unterhaltungskosten nicht unbeachtet bleiben, denn die Werke sind viel stärkern Zerstörungen ausgesetzt, wenn sie bis zu gröfsern Tiefen hinausreichen.

Aufser diesen Andeutungen läfst sich im Allgemeinen über die Wahl der Streichlinie wenig sagen. Eine sorgfältige Tiefenmessung und besonders die genaue Ermittelung des Randes der tiefern Rinne wird erkennen lassen, wie weit diese Linie mindestens vorgeschoben werden mufs, und wie die Kosten für den Bau sich stellen, je nachdem man den Strom weiter zurückdrängt, oder ihn nur nothdürftig vom Ufer abhält. Indem jedoch die Gefahr

wesentlich vergröfsert wird, wenn der Strom in scharfer Krümmung sich dem Ufer nähert, so dafs Letzteres auf seiner convexen Seite liegt, oder die Concave bildet, so mufs man besonders in diesem Fall die Einbaue so weit zu verlängern suchen, dafs die Krümmung sich mäfsigt oder ganz verschwindet. Auch dürfte zu empfehlen sein, dafs man nicht nur da, wo die gröfste Gefahr droht, solche Werke erbaut, sondern in gleicher Art, wie bei Strom-Correctionen geschieht, eine regelmäfsige Begrenzungslinie darstellt, die sich zu beiden Seiten an das bestehende Ufer anschliefst und in dieses ausläuft. Man hat indessen nur in seltenen Fällen eine solche systematische Anordnung gewählt, vielmehr gewöhnlich wegen der grofsen Kosten sich darauf beschränkt, diejenigen Stellen zu decken, welche gerade bedroht werden, woher man meist diese Werke plötzlich weit vor das Ufer vortreten sieht, was jedoch keineswegs angemessen ist.

Woltman ist der Ansicht, dass ein Einbau um so länger sein mufs, je gröfser die Tiefe ist. Eine solche Beziehung läfst sich gewifs nicht in Abrede stellen, das ganze System der neben einander liegenden Einbaue würde aber höchst unregelmäfsig ausfallen, wenn man die Länge jedes einzelnen Werkes allein nach der Tiefe bestimmen wollte, die zufälliger Weise zur Zeit des Baues daselbst statt findet. Die Forderung, dafs die Köpfe der Einbaue in einer stätigen Linie liegen, muss daher immer maafsgebend bleiben. Man kann indessen hiermit auch sehr wohl die so eben angedeutete Bedingung verbinden, indem letztere nur auf die Ermittelung der gröfsten Länge bezogen wird. Hiernach würde für diejenige Stelle, wo die grofse Tiefe dem Ufer sich am meisten nähert, die Lage der Streichlinie bestimmt werden, zu beiden Seiten würde man diese aber so zu ziehn haben, wie die erste Bedingung mit Rücksicht auf die möglichste Ermäfsigung der Kosten es fordert.

Nach Woltman*) bestimmt sich die Länge eines Einbaues am Meere in der Art, dafs sie ein bestimmtes Vielfaches der Niveau-Differenz zwischen dem Watt und der Sohle der Stromrinne betragen soll. Die Gröfse dieses Factors ist ohne Zweifel von manchen äufsern Umständen abhängig, und wenn

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur. II. Seite 175.

diese besonders günstig sind, so kann man den Factor gleich Vier, oder auch wohl gleich Drei setzen. Bei einer frei liegenden Küste, und besonders wenn eine starke Strömung vorbeizieht, mufs man dagegen ein gröfsres Verhältnifs wählen, und Woltman empfiehlt für Localitäten ähnlich denen der Küste des Amtes Ritzebüttel, diesen Factor gleich Zehn bis Zwölf zu setzen.

Wenn man bemerkt, dafs zwischen den Watten der Strom seinen Lauf in der Art verändert, dafs bei weiterer Ausbildung der neuen Rinne diese in gefährlicher Weise den Aufsendeich treffen würde, so empfiehlt es sich, die Werke schon früher zu erbauen, ehe die Rinne sich vollständig ausgebildet hat. Sie treffen alsdann noch auf das Watt, wodurch ihre Ausführung aufserordentlich erleichtert wird. Sie verhindern demnächst auch die weitere Erniedrigung des Watts, veranlassen vielleicht sogar einige Erhöhung desselben, aber den Abbruch des Watts oder die fernere Annäherung der tiefern Stromrinne an das Ufer können sie nicht früher abweisen, als bis ihre Köpfe diese Rinne erreicht haben. Alsdann müssen aber auch die Köpfe, um noch gröfsere Vertiefungen zu verhindern, sehr sorgfältig, und zwar gemeinhin durch Steinschüttungen gesichert werden.

Die Entfernung der einzelnen Werke von einander hängt eben so, wie bei den oberländischen Strömen, von verschiedenen Umständen und namentlich davon ab, ob die Stromrinne scharfe Krümmungen bildet. Wenn dieses der Fall ist, oder wenn die Rinne nur geringe Breite hat, also vielleicht ein hoher Grund auf der gegenüber liegenden Seite sie begrenzt, der sie nach dem Ufer hinüberdrängt, so müssen die Werke ganz unabhängig von ihrer Länge ziemlich nahe liegen. Man pflegt sonst die gegenseitigen Abstände der Einbaue so zu wählen, dafs sie in einem bestimmten Verhältnifs zu den Längen derselben stehn. Eine allgemein gültige Regel hat sich in dieser Beziehung nicht herausgestellt, doch hat die Erfahrung ergeben, dafs wenn das Ufer keinem starken Wellenschlag ausgesetzt ist, ein wirksamer Schutz schon erreicht wird, wenn die Entfernung der Einbaue von einander das Vierfache des normalen Abstandes der Köpfe von dem Ufer nicht übersteigt. In manchen Fällen hat man sich gezwungen gesehn, diese Entfernung sogar auf die Hälfte zu

reduciren, oder später noch Zwischenwerke zu erbauen, weil die anfangs gewählten Intervalle zu grofs waren.

Hierbei mufs noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs Einbaue allein ein Seeufer nur unvollkommen schützen, und namentlich den Abbruch durch Wellenschlag nicht verhindern. Besonders geschieht dieses, wenn der Wind in der Richtung dieser Einbaue steht, und sonach die auflaufenden Wellen zwischen ihnen beinahe die volle Stärke behalten. Hiernach wird ziemlich allgemein aufser diesen Einbauen auch noch die Uferdeckung ausgeführt. Man bemerkt sogar oft, dafs neben den Wurzeln der Einbaue, oder an den Stellen, wo diese sich an das Ufer anschliefsen, der Angriff stärker wird, als er früher war, und dieses erklärt sich dadurch, dafs die Wellen, wenn sie in die Winkel einlaufen, eine heftige Brandung veranlassen.

Demnächst entsteht die Frage, ob man die Einbaue normal gegen das Meeresufer legen, oder ihnen eine Richtung geben soll, die nach der einen oder der andern Seite mehr oder weniger geneigt ist. Woltman empfiehlt das Erste und zwar vorzugsweise deshalb, weil man bei dieser Anordnung mit der geringsten Länge den gröfsten Abstand vom Ufer erreicht, und weil die Strömungen an der Meeresküste nicht dauernd dieselbe Richtung haben. Sollte indessen auch die Strömung in einer Richtung die vorherrschende, also besonders zu berücksichtigen sein, so würde dennoch vor einem Meeresufer die Wahl der gegen dieses inclinant ausgeführten Buhnen nur wenig Nutzen haben. Der Vorzug der inclinanten Buhnen vor den senkrechten und namentlich vor den declinanten beruht darauf, dafs sie zur Bildung starker Wirbel in den Intervallen am wenigsten Veranlassung geben, demnächst aber auch, dafs sie das überstürzende Wasser nicht nach dem Ufer richten, sondern es von demselben abweisen. Beide Erfolge werden befördert, wenn die Buhnen recht lang sind, oder einen bedeutenden Theil des Profils abschliefsen, also einen merklichen Stau erzeugen. Einen solchen Erfolg kann ein Einbau am Meeresufer nicht haben, weil das Stromprofil übermäfsig grofs ist. Auch bei Berücksichtigung der Richtung des herrschenden Windes und der stärksten Stürme ist durch eine gewisse Neigung kein besonderer Vortheil zu erreichen. Liegt der Einbau beim hohen Anschwellen des Meers, wie gewöhnlich, tief unter Wasser, so mäfsigt

er nur wenig die Kraft der darüber tretenden Wellen. Wenn er dagegen mit einer hohen Wand auf der Krone versehn ist, so veranlafst diese eine starke Brandung, welche leicht das unmittelbar dahinter belegene Ufer in gröfsere Gefahr versetzt, als wenn es unmittelbar von der Welle getroffen würde. Aber auch dieser Uebelstand wird um so gröfser, je spitzer der Winkel ist, woher die normal gegen das Ufer gekehrte Richtung sich wieder als die günstigste herausstellt.

Endlich kommt bei der Anordnung dieser Einbaue auch deren Höhe in Betracht. Ueber die gewöhnlichen Fluthen pflegt man sie selten zu erheben, weil sie alsdann einem zu heftigen Wellenschlag ausgesetzt und zu schwer zu erhalten sind. Dagegen legt man sie wenigstens in ihrer Wurzel oder in dem Anschluss an das Ufer auch nicht tiefer, um ihre Wirksamkeit nicht zu beschränken. Sonach ist es ziemlich allgemein üblich, ihre Höhe mit der des gewöhnlichen Hochwassers übereinstimmen zu lassen, und eine Verschiedenheit findet nur in sofern statt, als man zuweilen die Krone horizontal durchführt, und den Kopf eben so hoch, wie die Wurzel legt, zuweilen dagegen sie in sanfter Neigung bis zum Kopf abfallen läfst. Woltman empfiehlt unbedingt das Letzte, wie dieses auch bei Strombauten üblich ist. Er sagt, man müsse diese Anordnung wählen, weil sonst die Strömung der Fluth, wie der Ebbe sich vor dem Kopfe stark concentriren, und ohnerachtet der davor angebrachten Steinschüttung ihn einer zu grossen Gefahr aussetzen würde.

Fig. 66 zeigt das Längen-Profil einer Schlenge nach der von Woltman empfohlnen Anordnung. Die Krone liegt neben dem Ufer in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers, am Kopf dagegen möglichst tief. Bis unter das gewöhnliche niedrige Wasser kann sie nicht herabgeführt werden, weil sie alsdann bei der üblichen Constructions-Art nicht auszuführen wäre, man mufs sogar einige Fufs darüber bleiben, wenn das Watt noch hoch ist, und hierdurch wird die Ausführung sehr erleichtert. Eine Senklage von Faschinen, mit Steinen bedeckt, umgiebt den Kopf und reicht so weit über denselben hinaus, dafs, wenn sie bei der weiteren Annäherung der tiefen Rinne in diese herabsinkt, der ganze Bau dennoch gesichert bleibt.

Ferner mufs auf einen Umstand aufmerksam gemacht werden,

der bei allen Einbauen am Meere, mögen sie vor Deichen oder vor dem Strande liegen, von der äussersten Bedeutung ist. Wenn man nämlich schon beim Bau der Buhnen in Strömen einer Trennung derselben vom Ufer sorgfältig vorbeugt, so tritt am Meere diese Gefahr in viel höherem Maafse ein. Dort ist nur der Stau, den die Buhne veranlafst, und in manchen Fällen der Widerstrom die Ursache der Hinterströmung, hier dagegen ist es der Wellenschlag. Die Welle nimmt nämlich an Höhe bedeutend zu, wenn sie in eine Bucht einläuft, die sich trichterförmig verengt. Dieses ist bald auf der einen, und bald auf der andern Seite jedes Einbaues der Fall, und so wird das Ufer, wo es den Anschluss bildet, besonders stark angegriffen und bricht endlich durch. Aus diesem Grunde wird gewöhnlich noch eine solide fortlaufende Uferdeckung mit den Einbauen verbunden, an welche jeder einzelne sich unmittelbar anschliesst.

Die Einbaue vor Aussendeichen werden sehr verschiedenartig construirt. Zuweilen bestehn sie ganz aus Faschinen oder Strauch wie Woltman angiebt, und wie auch im Oldenburgschen geschieht. Fig. 67 zeigt einen solchen, der im Busen der Jade theils zum Schutz des dahinter liegenden Deichs und theils zur Erhöhung des Watts vielfach vorkommt. Die Krone, die horizontal gehalten wird, ist 8 bis 12 Fufs breit, die Seitendossirung ist so steil, dafs sie auf 2 Fufs Höhe nur 1 Fufs Anlage hat, die Dossirung vor dem Kopf erhält dagegen einfache Anlage. Die hierbei verwendeten Faschinen sind wegen der Seltenheit des längern Strauchs nur etwa 5 Fufs lang, und bestehn grofsentheils aus krummen und ziemlich starken Aesten. Sie werden nach der in Holland üblichen Methode so verlegt, dafs die äufsere Ansicht überall die Stammenden zeigt. Hiernach liegen die sämmtlichen Faschinen, mit Ausnahme derjenigen, welche den Kopf bilden, parallel zu einander. Sie berühren und überdecken sich im Innern mit ihren Wipfelenden, und wo dieses wegen gröfserer Breite des Werkes nicht geschehn kann, wird der innere Raum mit losem Strauch oder mit kurzen Faschinen gefüllt. Der ganze Bau wird zur Zeit des niedrigen Wassers auf dem Watt, also im Trocknen ausgeführt. Sobald man eine Lage von etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs Höhe aufgebracht hat, wird dieselbe ringsum mit zwei Randwürsten benagelt. Die Pfähle, die hierzu verwendet werden,

sind etwa 6 Fufs lang, am obern Ende gelocht und mit einem Vorstecknagel versehn, mit welchem sie die Würste niederdrücken und dadurch die ganze Packung etwas comprimiren. Hierauf wird unmittelbar die zweite Lage Faschinen aufgebracht, ohne Beschwerungs-Material dabei zu verwenden. Sobald aber das Werk seine volle Höhe erreicht hat, so bemüht man sich, die Krone möglichst auszugleichen und rammt alsdann auf dieser mehrere Reihen starker Pfähle ein. Die Reihen sind nach der Länge des Werks gerichtet und ziehn sich im Halbkreis um den Kopf herum. Ihr Abstand beträgt etwa 2 Fufs von einander, und der Abstand der einzelnen Pfähle in den Reihen etwa 1 Fufs. Diese Pfähle haben nach Maafsgabe der Höhenlage des Watts verschiedene Längen und reichen jedesmal durch die ganze Packung hindurch bis in den Untergrund. Gegen den Kopf des Einbaues sind sie daher gemeinhin etwa 12 Fufs lang. Sie bestehn wieder aus starken Aesten und werden oben gleichfalls gelocht und mit Vorstecknägeln versehn. Wenn sie so tief eingerammt sind, dafs diese Nägel etwa noch 1 Fufs über die obere Lage vorragen, so wird starkes Strauch um die Pfähle jeder Reihe geflochten, wodurch sich Zäunungen nach der Länge des Einbaues, also quer gegen die Faschinen darstellen. Um diese Flechtzäune auf die Strauchlagen fest anzudrücken, rammt man endlich noch die Pfähle kräftig nach, und hiermit ist der ganze Bau beendigt, indem weder Steine, noch irgend andre Beschwerungs-Materialien aufgebracht werden.

Diese Werke dürften sehr lose und unhaltbar erscheinen, in sofern das Strauch bei der abwechselnden Benetzung und Austrocknung bald leidet, auch schwindet, und sonach der feste Zusammenhang des ganzen Baues in Kurzem aufhört. Dieses findet indessen keineswegs in dem Maafse statt, als man vermuthen könnte. Es tritt nämlich der sehr günstige Umstand ein, dafs in den Werken selbst eine grofse Masse Thon sich aus dem trüben Fluthwasser niederschlägt. Sobald nur einige Fluthen darüber gegangen sind, so ist jedes einzelne Reis mit einer dünnen Schlammlage überzogen, und indem der Niederschlag sich immer weiter fortsetzt, so lange noch hohle Räume vorhanden sind, auch während der Ebbe von den aus dem Wasser tretenden Reisern der weiche Schlamm abtröpfelt, so füllen sich nach und nach alle Zwischen-

räume mit zähem Thon an. Dieser verhindert aber nicht nur das Austrocknen des Strauchs bei niedrigem Wasser, sondern giebt auch zugleich dem Werk so viel Masse, dafs es dem Wellenschlag sicher widersteht. Der ganze Einbau verwandelt sich in dieser Weise in einen Thonklumpen, und das Strauch dient später nur noch, um die Erdmasse, die es einschliefst, vor der Einwirkung der Wellen und gegen Abspülung zu sichern. Nichts desto weniger sind die Beschädigungen an diesen Werken doch sehr bedeutend. In jedem Jahr müssen wesentliche Ausbesserungen besonders in der Krone vorgenommen werden, und indem die erwähnten Zerstörungen in den äufsern Flächen nicht verhindert werden können, hier auch der Bohrwurm oft die gröfsten Verwüstungen anrichtet, so wird ein solcher Bau von Jahr zu Jahr schwächer, und mufs endlich ganz aufgegeben und durch einen neuen ersetzt werden.

Häufig wird die Schlenge durch eine ziemlich dicht schliefsende Lage grofser und flacher Steine in der Krone bedeckt und dadurch vor Zerstörungen geschützt. In dieser Art waren früher die langen Einbaue vor den sehr gefährdeten Dünen bei Petten in Nord-Holland, und in gleicher Weise auch, wie bereits § 19 a erwähnt, die beiden Werke gesichert, welche die Mündung des Entwässerungs-Canals bei Catwijk einschliefsen. Diese Construction wiederholt sich auch sonst vielfach in den Niederlanden. Man sichert sie dadurch, dafs die Steindecke zu beiden Seiten und besonders am Kopf mit einer Reihe von besonders grofsen, schweren und recht lagerhaften Blöcken umgeben wird, die sich an doppelte Flechtzäune lehnen. Aufserdem pflegen die Werke, wenn sie auch am offnen Meer, also vor dem Strande liegen, sich im Innern mit Sand anzufüllen, wodurch sie an Masse wesentlich gewinnen und alsdann dem Angriff der Wellen kräftiger widerstehn. Nichts desto weniger bleiben sie doch in den obern Strauchlagen und an den Seiten der Zerstörung sehr ausgesetzt und bedürfen daher in jedem Sommer bedeutender Reparaturen. So oft diese vorkommen, werden die Steine, so weit es nöthig ist, abgehoben und, nachdem die Faschinen-Packung überhöht und ausgeglichen ist, auch die Zäunungen ausgeführt sind, wieder aufgebracht.

Um Einbaue dieser Art zu sichern, stellte man oft auf die

Mittellinien ihrer Kronen noch dicht schliefsende Pfahlwände von mäfsiger Höhe, wie dieses früher vor dem Pettener Ufer geschehn war. Fig. 74 *a* und 77 *b* zeigen diese Einbaue im Querprofil. Nach dem Vorschlage des Ingenieurs van Gendt wurde diese Anordnung in der Art abgeändert, dafs die starken Pfähle in Abständen von einigen Fufsen eingerammt und dazwischen kleinere und schwächere Pfähle gestellt wurden (Fig. 76 *a* und *b*). Die starken Pfähle, aus beschlagenem Holz bestehend, waren 11 Fufs lang und 6 Zoll stark. Sie überragten das Pflaster um 4 Fufs und waren durch doppelte Zangen aus Eichenholz mit einander verbunden. Die Einbaue selbst waren 16 bis 19 Fufs breit, verbreiteten sich aber an den Köpfen auf das doppelte Maafs, wo sie in Halbkreisen von 16 Fufs Radius ausliefen. Was ihre Höhe betrifft, so lagen die Kronen an den Ufern etwa 1 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser, und senkten sich nach den Köpfen mit der Neigung von 1 zu 50 bis 1 zu 70.

Bei der Erbauung neuer Zwischenwerke vor diesem Ufer und bei Wiederherstellung solcher, die nahe erneut werden mufsten, hat man jedoch in neuster Zeit die über die Kronen hinaustretenden Pfahlwände ganz fortgelassen, wie Fig. 35 *B* auf Taf. V *a* zeigt. Die neusten Einbaue sind in den Kronen 19 Fufs breit und werden umschlossen durch Pfahlreihen creosotirten Tannenholzes, worin die Pfähle von Mitte zu Mitte 1 1/2 Fufs entfernt sind. Die Krone ist nach einem Kreisbogen von 30 Fufs Radius gewölbt. Die Faschinenlage ist mit Ziegelgrus und darüber mit Basalten von 1 Fufs Höhe überdeckt. Die Bermen von 9 1/2 Fufs Breite reichen im Strauch 3 Fufs unter die Krone und sind in ähnlicher Weise, jedoch mit runden Graniten abgepflastert. Bei Ausführung dieser Werke mufste der Grund theils ausgehoben und theils durch Anschüttung erhöht werden, um überall die vorgeschriebenen Höhen darzustellen. In der Wurzel, oder im Anschlufs an die Pfahlwand auf dem Ufer, liegt die Krone 1 1/2 Fufs über, und im Abstande von 320 Fufs, 5 Fufs unter gewöhnlichem Hochwasser. Die Werke sind ohngefähr 370 Fufs lang und 380 bis 400 Fufs von einander entfernt.

In Betreff der Ausführung der Schlengen wäre noch zu erwähnen, dafs die Faschinenlagen nicht nur in der Krone, also unter der Steindecke, sondern auch im Innern durch Flecht-

zäune verbunden werden. Von diesen in den Niederlanden vielfach zur Anwendung kommenden und überaus sorgfältig geflochtenen Zäunungen ist bereits im II. Theile dieses Handbuchs § 38 die Rede gewesen, auch zeigt die zugehörige Figur 149 einen solchen Zaun. Hier bleibt nur in Betreff der Packwerke an der See, die einer besonders festen Verbindung bedürfen, zu erinnern, dafs die Zaunpfähle, die für die untern Lagen nur etwa 3 Fufs lang sind, meist sehr nahe neben einander eingestofsen werden, so dafs der lichte Zwischenraum nur 3 bis 4 Zoll mifst. Auf die laufende Ruthe rechnet man gemeinhin 28 Pfähle. Das Flechtwerk ist etwa 6 Zoll hoch, und die Pfahlköpfe ragen darüber $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll vor. Beim Flechten wird besonders dahin gesehn, dafs die dünnen Weidenruthen nirgend knicken oder brechen, weil sie sich in diesem Fall nicht fest an den Pfahl anlegen. Behalten sie dagegen ihre volle Festigkeit, so schliefsen sie sich so scharf an, dafs ein Abgleiten über den Kopf nicht zu besorgen ist. Wenn es jedoch darauf ankommt, die Faschinenlage recht scharf niederzudrücken, was in der Krone der Fall ist, so pflegt man noch etwa jeden vierten Pfahl mit einer Kerbe oder mit einem Nagel von Eichen- oder Eschenholz neben dem Kopf zu versehn, und der Pfahl wird, nachdem er umflochten ist, noch fest herabgetrieben. Um endlich dem ganzen Werk mehr Zusammenhang zu geben, so benutzt man zu den obern Flechtzäunen, welche die Steindecke umschliefsen, längere Pfähle, die durch die ganze Packung hindurch bis in den Untergrund reichen.

Die Schlengen, welche zum Schutz der hartbedrohten Westkappelschen Deiche auf der Insel Walcheren schon seit langer Zeit erbaut sind, bestehn gleichfalls aus Faschinen-Packung, die jedoch sehr solide von Pfahlreihen umschlossen ist. Die Figuren 68 *a* und *b* zeigen einen Theil des Grundrisses und einen Querschnitt dieser Werke, die in ihrer Construction den Hafendämmen, wie solche in den Niederlanden vielfach vorkommen, ziemlich ähnlich sind. Jede Schlenge war früher etwa 30 Ruthen lang und ungefähr 90 Ruthen von der nächsten entfernt. Gegenwärtig sind indessen, wie bereits § 17 mitgetheilt, die Längen bedeutend vergröfsert, auch sind viele neue hinzugekommen. Ihre Krone hat wie bei der frühern Construction die Breite von 12 Fufs. Die Wurzeln liegen im Anschlufs an die Ufer-

deckung 8 bis 12 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser, am Kopf dagegen in der Höhe des letztern. Diese Werke sind demnach bedeutend höher, als die bisher beschriebnen. Drei Pfahlreihen zu beiden Seiten und in der Mittellinie, ziehn sich durch die ganze Länge der Schlenge hin, und aufserdem ist in Abständen von je 6 Fufs noch eine Querreihe eingerammt. In den einzelnen Reihen sind die Pfähle $1\frac{1}{2}$ Fufs von einander entfernt, und mittelst angebolzter Zangen mit einander verbunden. Diese Zangen sind bei allen innern Reihen einfach, bei den äufsern dagegen doppelt, und durch letztre ist an jedem Pfahl ein Schraubenbolzen hindurchgezogen. Die Felder zwischen diesen Pfahlreihen sind mit Faschinen ausgepackt, die abwechselnd in der einen und der andern Richtung liegen, so dafs sie sich kreuzen. Flechtzäune oder sonstige Verbindungen kommen hier nicht vor, doch sind grofse Steine, die sich mehrfach überdecken, darüber aufgebracht und diese geben vorzugsweise dem ganzen Werk die nöthige Masse, um dem Wellenschlag hinreichend Widerstand zu leisten. Bei vorkommenden Reparaturen, die vorzugsweise in der Faschinen-Packung oft nöthig werden, müssen die Steine ausgehoben und demnächst wieder aufgebracht werden.

Um Vertiefungen zur Seite und vor den Köpfen dieser Werke möglichst zu verhindern, woselbst die Brandung gegen die hohen und steilen Wände sehr stark ist, führt man rings umher Faschinenbettungen oder Risbermen aus, die 18 bis 24 Fufs breit und grofsentheils mit Steinschüttung bedeckt sind. Nur an den minder bedrohten Stellen begnügt man sich damit, dieselben, wie Fig. 68 zeigt, in der Nähe des Ufers allein durch Flechtzäune zu sichern.

Wesentlich verschieden ist die Constructions-Art, die man am nördlichen Ufer des Dollart zur Sicherung der Deiche und zur Gewinnung neuen Vorlandes anwendet. Verfolgt man dieses Ufer von Emden aus seewärts in westlicher Richtung, so trifft man in der Entfernung von etwa drei Viertel-Meilen eine vortretende Uferecke, das Logumer Hoek genannt, und etwa eine Meile weiter die scharf vortretende Ecke, den Knock. Zwischen diesen beiden Punkten hat sich eine bedeutende Concave ausgebildet, in welche der Strom um so stärker hineingedrängt wird, als die Untiefe, die Wibelsumer Plaate genannt, davor liegt. Dieses concave Ufer ist durch eine Anzahl Werke verbaut, deren Construc-

tion sich aus Fig. 69 ergiebt. Im Abstand von 12 bis 14 Fufs werden zwei Pfahlreihen eingerammt, die auf der innern Seite mit Bohlen verkleidet sind, um die Zwischenräume zwischen den einzelnen Pfählen bis unter das Watt zu schliefsen. Die Pfähle reichen bis 3 Fufs unter das gewöhnliche Hochwasser herauf, und dazwischen ist zunächst ein Kern aus Kleierde gebildet. Ueber diesen ist eine starke Lage von Faschinen ausgebreitet, die mit kleinern Steinen und Ziegelbrocken beschwert ist. Endlich ist das Ganze mit Granitgeschieben möglichst regelmäfsig überdeckt. Die Krone erhebt sich an der Wurzel 3 Fufs über das gewöhnliche Hochwasser. Es bilden sich dabei so steile Seitendossirungen, dafs man besorgen könnte, dieselben möchten bei starkem Wellenschlag herabstürzen. Die von der See in die Ems einlaufenden Wellen treffen indessen nicht diese Bucht, auch gewährt die zum Königreich der Niederlande gehörige Landzunge, Ryde genannt, einen kräftigen Schutz gegen die Wellen aus dem Dollart.

Häufig werden die Einbaue in einfacher Construction aus Holz ausgeführt, wie Fig. 70 *a* und *b* im Querschnitt und im Grundrifs zeigt. Man nennt sie alsdann Stacke. Den wesentlichsten Theil derselben bildet eine dichte Holzwand, die mit Zangen zu beiden Seiten umschlossen und durch Streben gestützt wird. Je nachdem der Wellenschlag mehr oder minder heftig ist, giebt man jener Wand eine gröfsre oder geringere Stärke. Auch in der Darstellung der Wand kommen manche Abweichungen vor. Auf der Insel Goederede, wo die sehr gefährdeten Deiche zu schützen sind, ist Balkenholz von 9 bis 10 Zoll Stärke dazu verwendet, und die einzelnen Hölzer sind aufserdem mit Federn und Nuthen versehn, so dafs sie vollständige Spundwände bilden. An der untern Elbe dagegen hält man grofsentheils starke Bohlen schon für ausreichend, selbst vor den östlichen Ufern, wo der Wellenschlag besonders heftig wird, wie etwa bei Hollenwettern. Die Wände waren daselbst nur aus 4zölligen Bohlen zusammengesetzt, wurden aber in Abständen von 4 Fufs durch je zwei Streben unterstützt. Zur Befestigung der Streben dient gemeinhin ein langer und starker Schraubenbolzen, der die Köpfe derselben verbindet und zugleich durch die Wand hindurchgreift.

Woltman empfiehlt, statt der doppelten, nur einfache Zangen anzuwenden, weil die Hölzer doch niemals so genau in der Stärke übereinstimmen, dafs sie durch die Zangen allein hinreichend gehalten werden. Man solle daher die zweite Zange fortlassen, und dafür alle Pfähle an eine starke Zange mit langen Nägeln oder mit Schraubenbolzen sicher befestigen. Dagegen verlangt Woltman, dafs noch eine Zange unter der ersten in der halben Höhe der Wand angebracht werde, damit die schwachen Hölzer nicht zu stark durchbiegen. Dieses geschieht auch vielfach, und zwar gemeinhin liegt die zweite Zange etwas unter dem Watt In diesem Fall pflegt man die Streben in gröfsrer Entfernung von einander anzubringen, ihr Abstand mifst nicht selten eine volle Ruthe.

Die Wand reicht an dem äufsern Ende meist nur bis zum Niveau des gewöhnlichen Hochwassers herauf, während sie an der Wurzel oder neben dem Ufer sich oft 6 bis 8 Fufs darüber erhebt. Bei dieser grofsen Höhe pflegt eine sehr starke Brandung einzutreten, deren lautes Getöse beim Anschlagen jeder Welle schon in der Entfernung von einer Meile zu hören ist. Dabei wird die senkrechte Wand heftig erschüttert und zugleich der Boden neben ihr gelockert. Um zu verhindern, dafs zur Seite sich nicht eine grosse Tiefe ausbilde, wobei die Pfähle der Wand und die Streben ausgespült werden könnten, pflegt man namentlich neben dem Kopf Senklagen oder Risbermen von Strauch anzubringen, die mit Steinen überdeckt sind.

Häufig wird diese Construction in sofern noch etwas vereinfacht, dafs man die Streben über die Wand übergreifen läfst, wie Fig. 71 zeigt, und sie hier unmittelbar unter sich verbindet. Diese Anordnung möchte sich indessen kaum empfehlen, weil dabei die Streben nicht mit der Wand in Zusammenhang gesetzt werden und sonach von den auflaufenden Wellen leicht hin und her bewegt werden können. Wichtig ist es dagegen, den Kopf noch durch mehrere schräge davor gerammte Pfähle zu sichern oder einen Duc d'Albe davor zu stellen.

Im Allgemeinen haben die so eben beschriebenen Stacke den Erwartungen nicht entsprochen und namentlich haben sie wohl niemals die Erhöhung des Watts veranlasst. Die grofse Tiefe, die sich neben ihnen bildet, verhindert die Ablagerung erdiger

Theilchen, und wenn auch die Risbermen den Untergrund sichern, so können sie dennoch nicht den erdigen Niederschlag erhalten, der bei ruhiger Witterung sich vielleicht darüber ablagert. Auch die Risbermen selbst sind einem starken Angriff ausgesetzt und bedürfen daher häufiger Ausbesserungen oder der vollständigen Erneuerung, und wenn sie den Untergrund nicht schützen, oder dieser bis zu großer Tiefe ausgewaschen wird, so löst sich leicht die Wand mit der Verstrebung und wird ausgehoben. Oft geschieht dieses, während das Holz sich noch in gesundem Zustand befindet. Die Ausbesserung oder theilweise Wiederherstellung der Wand ist aber sehr schwierig, weil man dabei die Verbindung mit den Zangen und Streben jedesmal lösen muß. Diese Umstände sind wohl Veranlassung gewesen, daß man von dieser Constructions-Art in neuerer Zeit abgegangen ist, und dafür den Packwerksbau mit Steinbedeckung ziemlich allgemein eingeführt hat. Wenigstens ist dieses an der untern Elbe im Holsteinschen geschehn.

Das Ufer des Hamburger Amtes Ritzebüttel bildet, wie bereits erwähnt, im Allgemeinen eine starke Concave, und der Strom, der durch die gegenüberliegenden Untiefen sehr beengt wird, zieht sich vorzugsweise neben ihm hin. Es konnte nicht fehlen, daß er dasselbe heftig angriff. Zwei oder drei feste Punkte, die seine weitere Annäherung verhinderten, existirten bereits. Dieses waren die Kugelbaake an der nördlichen Ecke der eingedeichten Niederung, und die Mündung des Hafens Cuxhaven, neben der sich das Osterhörn befand. Von der Hafenmündung bis zur Grenze des Hamburger Gebietes beträgt die Entfernung nahe eine Deutsche Meile, und um von dieser Strecke, die dem Angriff besonders ausgesetzt war, den Strom zu entfernen, wurde etwa in der Mitte derselben im Jahre 1793 ein sehr langes Stack erbaut, welches das Grodener Stack genannt wird, weil es dem Dorfe Groden gegenüber liegt. Seine Länge maß 650 Hamburger oder 593 Rheinländische Fuß. Es bestand ursprünglich aus einer dichten Pfahlwand, indem beschlagene Hölzer neben einander eingerammt waren. Sie erhoben sich am Ufer bis zur Höhe des gewöhnlichen Hochwassers, an der Wurzel blieben sie dagegen 6 Fuß darunter. Zu beiden Seiten waren Steine angeschüttet, und um den Kopf zu sichern, wurde der Boden vor demselben noch auf 200 Fuß Länge und

in der Breite von etwa 100 Fuſs mit Senkstücken überdeckt. Diese lagen 30 bis 35 Fuſs unter Wasser und waren mit Steinen beschwert.

Das Werk wurde indessen in kurzer Zeit sehr angegriffen und namentlich bildete sich ohnfern des Kopfes auf der westlichen Seite eine bedeutende Tiefe daneben. Um diese zu durchbauen, versenkte man im Jahr 1805 zwei groſse Schiffe, so wie auch gleichzeitig das Osterhörn in derselben Art gesichert wurde. Auſserdem erfolgte damals eine wesentliche Verstärkung jenes Stacks noch dadurch, daſs man eine zweite verholmte Pfahlwand im Abstand von 10 Fuſs neben die erste einrammte, beide mittelst Zangen verband, und den innern Raum mit schweren Steinen ausfüllte.

In der nächsten Zeit schien jede Gefahr beseitigt, wenn nur die Steinschüttungen nach Bedürfniſs erneut würden. Die Tiefe vor dem Kopf nahm indessen nach und nach bis auf 100 Fuſs zu, und vor etwa 20 Jahren zeigten sich auch zur Seite sehr bedenkliche Auskolkungen. Es war demnach nothwendig, das Werk zu sichern, und hierzu hat man ein Verfahren gewählt, zu dem man sich sonst wohl noch nie entschlossen hat. Man schützte nämlich die Buhne selbst in gleicher Weise, wie man sonst ein Ufer gegen den Angriff des Stroms schützt, indem man eine Anzahl kleiner Buhnen an ihren beiden Seiten erbaute.

Die erwähnte groſse Annäherung des tiefen Stromschlauchs wurde indessen abgesehn von den Beschädigungen des Einbaues auch für das Ufer höchst bedenklich, und man sah sich daher gezwungen, dasselbe noch durch mehrere andre Einbaue zu sichern, die jedoch kürzer waren, als der beschriebene, und nur etwa 200 Fuſs vor das Ufer vortraten. Die sehr bedeutenden Mehrkosten, welche eine gröſsre Länge veranlaſst haben würde, machten diese Abweichung nothwendig, doch nahm man darauf Rücksicht, daſs die Köpfe der neuen Werke eine angemeſsne Streichlinie bildeten. Dabei wurde von der Anwendung dichter Pfahlwände abgesehn, und dafür Strauch-Constructionen mit Steinbedeckung gewählt.

§ 23.
Einbaue vor dem Strande.

Die an der offnen See vor dem Strande ausgeführten Einbaue haben wesentlich keinen andern Zweck, als die vorstehend

behandelten. Sie sollen das weitere Vordringen der See oder das Zurückweichen des Strandes verhindern. Es giebt in der That mehrfach Anlagen dieser Art, die vor Deichen und zugleich vor dem Strand erbaut sind, wie beispielsweise diejenigen an der Niederländischen Küste bei Petten und auf Walcheren. Eine Trennung schien indessen nothwendig, um die vergleichungsweise einfachern und wohlfeilern Bauarten besonders zu behandeln. Letztere wählt man, um kostbare Constructionen zu vermeiden, da eines Theils die zu schützenden Ufer an der offnen See gewöhnlich grofse Ausdehnung haben, andrerseits aber das dahinter liegende Land mindern Werth hat. Nicht selten werden solche einfachen Einbaue auch ausgeführt, um den vorbeitreibenden Sand und Kies aufzufangen, bevor derselbe einen in der Nähe befindlichen Hafen erreicht. Dieses geschieht auch in den untern Theilen grofser Ströme, um das Fahrwasser zu sichern, wenn schweres Material herabtreibt.

In Betreff der Anordnung solcher Werke, die unter sich eben so verschieden sind, wie die Einbaue vor den Deichen, kann nur auf das zurückgewiesen werden, was über diese gesagt ist. Die Ansichten über die passenden Längen, Abstände und namentlich über die Höhen und die Constructions-Art sind wieder so abweichend, dafs allgemeingültige Regeln zur Zeit sich nicht aufstellen lassen. Es mufs daher genügen, an einigen Beispielen diese Verschiedenheiten nachzuweisen, und nach den dadurch erreichten Erfolgen die Zweckmäfsigkeit der Wahl anzudeuten.

Wenn man am nördlichen Ufer der Seine vom Havre nach dem Cap de la Héve geht, sieht man eine Anzahl solcher Werke, die in ihrer Construction gewöhnlichen Bohlwerken gleichen. Die Pfähle stehn etwa 4 Fufs aus einander, sind verholmt, und an der westlichen, oder der Seeseite mit Bohlen verkleidet, grofsentheils kann man auch bemerken, dafs sie früher auf derselben Seite mit Erdankern versehn waren. Sie befinden sich jedoch sämmtlich in sehr schlechtem Zustande und es scheint, dafs man gegenwärtig auf ihre Unterhaltung oder Erneuerung keine Sorgfalt verwendet. Nichts desto weniger haben sie ihren Zweck erfüllt, denn an der westlichen Seite hat sich jedesmal eine Kiesablagerung gebildet, die bis zum Holm heraufreicht, während auf der andern Seite die Ablagerung um 2 oder 3 Fufs niedriger ist.

Diese Werke liegen sehr unregelmäfsig, doch mögen sie zum Theil vielleicht zerstört sein, so dafs dieses der Grund ist, weshalb ihre Köpfe keine regelmäfsige Streichlinie bilden. Ihre Länge beträgt durchschnittlich etwa 50 Fufs. Die Ablagerungen, die ohne Zweifel vom Fluthstrom herrühren, zeigen in der Oberfläche den rein ausgewaschnen Kies, also die Feuersteine, die aus den abbrechenden Kalkufern sich gelöst haben. Unter denselben liegen jedoch grofse Sandmassen.

Auch an den Ufern des Canals hat man sowol auf der Französischen, wie auf der Englischen Seite dasselbe Mittel wiederholentlich zur Sicherung der Hafen-Mündungen angewendet. Als im Jahr 1837 die Verbesserung des Hafens von Dieppe zur Sprache kam, führte man auf dessen westlicher Seite, also zwischen den Bädern und dem Hafendamm, fünf solcher Einbaue aus, die den mit dem Fluthstrom antreibenden Kies vor dem Hafen auffangen sollten. Diese Werke sind in ähnlicher Weise, wie die so eben beschriebenen construirt, doch werden sie sorgfältig unterhalten. Ihre Länge mifst etwa 300 Fufs, und ihr gegenseitiger Abstand das Doppelte dieser Länge. Sie greifen mit ihren Wurzeln in das höhere Ufer ein, so dafs sie nicht hinterströmt werden können, und ihre Köpfe erreichen nicht die Grenze des niedrigen Wassers, sondern bleiben gegen dieselbe noch etwa 100 Fufs zurück. Diese Köpfe erheben sich einige Fufs über den Strand, und der Holm steigt mit schwacher Neigung gegen das Ufer an. Ihre Construction betreffend, ist zu erwähnen, dafs die Pfähle aus beschlagnem Balkenholz bestehn und in Abständen von 6 Fufs eingerammt sind. Der Holm, der 15 Zoll stark ist, tritt auf beiden Seiten über die Pfähle so weit vor, dafs er mit den aufgenagelten Bohlen bündig ist. Ueber jedem Pfahl ist ein starker Bügel um den Holm gelegt, der bis zur dritten Bohle herabreicht, und durch zwei durchgehende Schraubenbolzen befestigt ist. Die Bekleidung mit Bohlen ist auf beiden Seiten angebracht. Eine Verankerung findet nicht statt. Sehr auffallend war die Erscheinung, dafs hier der Kies sich viel stärker an der östlichen, als an der westlichen Seite jedes Werks abgelagert hatte, doch war dieses vielleicht durch vorhergehende starke westliche Stürme veranlafst, die den Kies wieder in Bewegung gesetzt hatten. Nach sonstigen Erfahrungen dürfte es zweifelhaft sein, ob diese Einbaue

wirklich zum Nutzen des Hafens gereichen, da sie, wenn sie ihren Zweck erfüllen, den Strand herausrücken, also zur Abflachung und vollständigen Schliefsung der kleinen Bucht unmittelbar vor dem Hafenkopf beitragen. Ist dieses aber geschehn, so treibt der Kies an ihnen vorbei in die Hafenmündung, die nicht mehr vor das Ufer vortritt. Vortheilhafter wäre es gewesen, die Bucht hier möglichst zu erhalten und den antreibenden Kies schon in weiterer Entferung aufzufangen.

Bei Dover hat man in früherer Zeit auf gleiche Art den Kies von dem Hafen abzuhalten versucht. Auf der Westseite der Stadt tritt das Kreide-Gebirge unmittelbar an das Meer, während es ostwärts erst bei South-Foreland wieder so weit vorspringt. Es bildet sich daher hier eine flache Bucht, in welcher der Hafen liegt, und die Mündung des Hafens befand sich am Ende des vorigen Jahrhunderts nicht auf einer vortretenden Uferecke, vielmehr trat sie gegen die Richtung des westlichen Ufers noch merklich zurück. Hiernach konnte es nicht fehlen, dafs die grofsen Massen Feuersteine, welche bei dem Abbruch des Ufers herabfielen, und durch die Fluth in östlicher Richtung getrieben wurden, sich vorzugsweise vor der Mündung des Hafens ablagerten. Man hatte indessen bemerkt, dafs, so oft ein starker Absturz des nächsten Ufers erfolgt war, die Kiesmasse, die nach Dover trieb, sich sogleich verminderte. Smeaton *) beobachtete zwei Fälle dieser Art. Die herabfallende Kreide nebst dem darin enthaltenen Feuerstein bildete eine Schüttung, die weit vor das Ufer trat, und sie wirkte sogleich wie ein künstlicher Einbau, indem der von der westlichen Seite herbeigeführte Kies davor sich ablagerte, also zunächst zurückgehalten wurde, und nicht bis vor Dover treiben konnte. Die Verhältnisse änderten sich jedoch sehr bald, denn die von den Wellen hin- und hergetriebnen Kreideklumpen schliffen sich ab, zerbrachen und verschwanden nach einiger Zeit, indem sie sich in feine Theilchen auflösten und im Wasser schwebend in die Tiefe versanken. Einzelne festere Stücke der Kreide folgten noch einige Zeit dem Küstenstrom und zwar wegen ihres geringen specifischen Gewichts sogar schneller, als die Feuerstein-Knollen. So geschah es, dafs jener

*) Reports of the late John Smeaton. London 1837. Vol. II. pag. 232.

natürliche Einbau sehr bald verschwand, und nunmehr wurde der von Westen her neu antreibende Kies nicht weiter aufgehalten, überdiefs verlor auch der bereits aufgefangene Kies seine Stütze und wurde gleichfalls von den Wellen in Bewegung gesetzt und weiter getrieben. Für die Hafenmündung trat also nur vorübergehend eine Erleichterung ein, und die Verflachungen wiederholten sich bald in gröfserm Maafse, so dafs die ganze Kies-Masse endlich dahin gelangte. Etwas günstiger mufste das Verhältnifs sich gestalten, wenn jene natürliche Schüttung durch einen soliden künstlichen Einbau ersetzt wurde, der dauernd sich erhielt, und sonach die davor abgelagerte Masse nicht wieder ein Spiel der Wellen werden konnte. Smeaton sagt, man hätte sogar gehofft, durch solchen Bau dem Hinzutreiben des Kieses für immer eine Grenze zu setzen. Diese Ansicht war Veranlassung gewesen, dafs man im Abstande von etwa 200 Fufs auf der Westseite des Hafens einen grofsen, massiven Einbau (Cheeseman's head) ausführte. Der Erfolg war indessen kein andrer, als sich wohl vorhersehn liefs. Obwohl der Bau gegen 300 Fufs vor das Ufer vortrat, so war der Raum davor doch bald mit Kies angefüllt und letztrer trieb nunmehr ungehindert wieder vorbei und lagerte sich sogar noch stärker als früher vor die Hafenmündung, weil diese jetzt weit hinter die Uferlinie zurücktrat, und sonach mehr gegen Strom und Wellenschlag geschützt war. Unter diesen Umständen wurde im Jahre 1769 Smeaton zu Rath gezogen. Derselbe sprach sich sehr entschieden gegen die weitere Verlängerung jenes Einbaues aus, so wie auch gegen die Anlage andrer ähnlicher Werke, indem er nachwies, dafs sie nur vorübergehend von Erfolg sein könnten, dafs sie aber in der Anlage kostbarer wären, als die künstliche Beseitigung des Kieses vor der Hafenmündung, soweit derselbe die Schiffahrt behinderte. Er fügte hinzu, dafs solche Werke nur in dem Fall von dauerndem Nutzen sein könnten, wenn man sie in jedem Jahr so weit verlängert, als die Ablagerung neben ihnen sich ausbildet. Dagegen empfahl Smeaton, den südlichen oder westlichen Hafendamm weiter hinauszuführen, damit dieser nicht so weit gegen die Uferlinie zurückbleibe. Aufserdem wurden Spülvorrichtungen empfohlen und diese Vorschläge wurden auch ausgeführt.

Wenn die Angemessenheit dieser Vorschläge sich auch durch

den Erfolg bestätigte, so konnte das Uebel doch keineswegs hierdurch allein beseitigt werden, vielmehr bestand es noch dauernd und wurde um so empfindlicher, je mehr der Verkehr im Hafen zunahm. Aus diesem Grunde ist man später wieder auf die Einbaue, jedoch in einfacherer Construction zurückgekommen, und es sind zwischen dem erwähnten Cheeseman's head und dem Archcliff-Fort etwa zwölf solche erbaut worden, die jedoch zugleich den Zweck haben, das Ufer, auf dem die Eisenbahnstation sich befindet, vor dem unmittelbaren Angriff der Wellen zu sichern.

In neuer Zeit ist ein grofsartiges Werk, nämlich ein Pier oder Hafendamm zur Ausführung gebracht, der sich an den Kopf des Cheeseman's head anschliefst und nahe in südlicher Richtung weit in die See tritt. Bevor man sich zu seiner Erbauung entschlofs, entstand wieder die Frage, ob derselbe den antreibenden Kies dauernd auffangen würde, wenn er über 1000 Fufs herausgeführt und soweit verlängert wäre, dafs bei kleinstem Wasser vor ihm die Tiefe noch 40 Fufs beträgt. Man glaubte sich in dieser Beziehung gesichert, insofern in der angegebnen Tiefe die Wellenbewegung beinahe ganz aufhört, also auch das Treiben des Kieses nicht mehr zu besorgen ist. Wenn indessen nicht etwa durch vollständige Sicherung der Küste das Abbrechen derselben verhindert, und hierdurch dem Antreiben des Kieses eine Grenze gesetzt wird, so wird solcher fortwährend vor diesem neuen Pier sich lagern, und mufs endlich den Kopf desselben erreichen. Seine Bewegung wird freilich nur in mäfsiger Tiefe oder in der Nähe des Wasserspiegels erfolgen, sobald er sich aber an einer Stelle stark anhäuft, vor der eine grofse Tiefe sich befindet, so stürzt er in diese herab, und auf solche Art verschwindet nach und nach jene Tiefe, welche die Bewegung unmöglich machen soll. Nichts desto weniger dürfte wohl eine lange Reihe von Jahren vergehn, bevor die Bucht hinter diesem Damm sich anfüllt und die Hafen-Mündung wieder bedroht wird.

Endlich mufs noch des auf der Ostseite von Dover ausgeführten Einbaues (Castle Jetty) erwähnt werden, insofern die Wirksamkeit desselben in der überraschendsten Weise sich darstellt. Dieses Werk, das wieder massiv ist, hat im Ganzen eine sehr bedeutende Länge, doch läfst sich diese nicht mehr sicher

schätzen, da es unter dem Kiese grofsentheils schon vergraben liegt. Auf seiner westlichen Seite tritt die Kiesablagerung um 300 bis 400 Fufs vor diejenige auf der östlichen Seite vor, und erhebt sich zugleich etwa um 6 Fufs über die letzte, so dafs sich in Folge dieser Anlage längs der ganzen Stadt ein breites Kai aus demjenigen Kiese gebildet hat, welcher der Hafenmündung vorbeigetrieben ist. Hinter dem Werk bemerkt man den Kreideboden unregelmäfsig abgebrochen vor den höhern Ufern und nur mit einer sehr mäfsigen Ablagerung überdeckt, während auf der westlichen Seite das Kiesfeld sich in grofser Höhe über den Felsboden erhebt.

Etwa in der Mitte zwischen Dover und der Insel Wight befindet sich eine besonders stark vortretende Uferecke, Beachy-Head genannt, neben Eastbourne, und hier hat man eine grofse Anzahl von Einbauen (groins) ausgeführt, um den fernern Abbruch des sehr bedrohten Kreideufers zu verhindern, indem diese den vorbeitreibenden Kies auffangen und dadurch einen hohen Strand bilden, auf den die Wellen auflaufen, ohne die Kreide weiter zu berühren. Diese Anlage ist nicht nur wegen der dabei erreichten günstigen Erfolge wichtig, sondern auch weil sie in eigenthümlicher Weise angeordnet ist *). Auf dem geneigten Strande wird an derjenigen Stelle, die vom Hochwasser der todten Fluthen so eben noch erreicht wird, ein Pfahl eingerammt, dessen Kopf bis zum Hochwasser der Springfluthen heraufreicht. Demnächst rammt man ohnfern der äufsern Grenze des Strandes, oder so weit der Einbau ausgedehnt werden soll, einen Pfahl ein, dessen Kopf in der Höhe des gewöhnlichen niedrigen Wassers sich befindet. Zwischen diesen beiden Pfählen werden nun die übrigen eingetrieben, so dafs ihre Köpfe mit jenen in eine gerade Linie fallen. Um aber eine Hinterströmung des Werks zu verhindern, so wird dasselbe noch rückwärts so weit fortgesetzt, bis es den Strand oder das Ufer in der Höhe der Springfluthen trifft. Die Pfahlköpfe dieser Fortsetzung fallen in den Horizont der Springfluthen. Die Werke erhalten bei der Beschaffenheit des dortigen Strandes nach dieser Anordnung die Längen von 200 bis 250 Fufs, ihr Abstand von einander ist etwa ihrer halben

*) Civil engineer and Architect's Journal. 1837—1838. pag. 6.

Länge gleich. Sie sind sämmtlich normal gegen das Ufer gerichtet, oder wenn dieses sehr unregelmäfsig abgebrochen ist, gegen die Linie, welche den Zug des Ufers im Allgemeinen bezeichnet.

Die Pfähle sind 12 bis 25 Fufs lang und 6 bis 8 Zoll stark, und bestehn so wie die übrigen Verbandstücke aus Eichen- oder Buchenholz. Sie werden auf zwei Drittel ihrer Länge eingerammt, jedoch nicht in einer geraden Linie, sondern abwechselnd rechts und links versetzt, so dafs die Bohlenbekleidung dazwischen liegt. Ihr gegenseitiger Abstand mifst 4 Fufs von Mitte zu Mitte. Sie erhalten keine Holme, werden aber seitwärts in der Art gestützt, dafs sie dem stärksten Wellenschlag widerstehn. Zu diesem Zweck werden auf der östlichen Seite möglichst hoch gegen die Pfähle Zangen verlegt, und diese an 20 Fufs lange Streben, die 12 Fufs von einander entfernt sind, gebolzt. Man hatte anfangs auf beiden Seiten Streben angebracht, doch überzeugte man sich bald, dafs es genügte, die Wand gegen den Druck des Fluthstroms zu sichern.

Die Bohlen waren $2\frac{1}{2}$ Zoll stark, und wurden zwischen die Pfähle eingeschoben und an jeden derselben mittelst eines starken Nagels befestigt. Es kam darauf an, die ersten Bohlen möglichst tief herabzuschieben. Jedenfalls mufsten sie bis unter die Kies- oder Sandablagerung reichen und wurden, so weit es geschehn konnte, parallel zu den Pfahlköpfen gelegt. Man machte bald die Erfahrung, dafs wenn ein neuer Einbau sogleich in seiner ganzen Höhe mit der Bohlenwand versehn wurde, er nicht nur einem starken Angriff durch die Wellen ausgesetzt war, sondern dafs sich auch auf der Seite, von wo die Wellen anliefen, eine Rinne neben dem Werk bildete, durch welche bald das Wasser hindurchströmte und die Pfähle löste. Um dieses zu verhindern, durfte die Bohlenwand immer nur wenig, und höchstens 1 Fufs über die jedesmalige Kiesablagerung sich erheben. Hierdurch wurde einer merklichen Verschiedenheit des Drucks auf beiden Seiten vorgebeugt. Die Wellen schlugen alsdann hinüber, und der Kies, der sich davor abgelagert hatte, wurde nicht durch das Wasser fortgetrieben. Sobald aber der Kiesrücken bis zur obern Kante einer Bohle sich gehoben hatte, legte man eine neue darüber, bis endlich die Pfahlköpfe erreicht

waren. Die weitere Kiesablagerung hört alsdann auf, aber der Strand hat sich auch so erhöht, dafs das Ufer dahinter gesichert ist.

Um ein Beispiel von massiven Einbauen zu geben, mögen diejenigen beschrieben werden, die in den Jahren 1847 bis 1849 bei Sunderland ausgeführt wurden*). Das neue Dock war ausgegraben und die dabei gewonnene Erde war auf der Südseite am Ufer aufgesetzt. Es kam darauf an, diese vor dem Fortspülen durch die Wellen zu sichern und das Uebertreten der See über den weit ausgedehnten flachen Strand zu verhindern. Zuerst wurden drei Werke erbaut, die etwa 350 Fufs lang waren. Ihre Köpfe traten $2\frac{1}{2}$ Fufs und ihre Wurzeln 10 Fufs über gewöhnliches Hochwasser. Ihr Querprofil wird nicht speciell bezeichnet, es heifst nur, dafs ihre Anlage auf der Nordseite $2\frac{1}{2}$ Zoll, auf der Südseite dagegen 1 Fufs auf 1 Fufs Höhe hatte, und dafs die Krone einen Kreisbogen von $5\frac{1}{2}$ Fufs Radius bildete. Sie bestanden im Aeufsern aus behauenen Steinen, im Innern dagegen aus Mauerwerk von Bruchsteinen. Den beabsichtigten Zweck erfüllten sie nicht, vielmehr wurden sie theilweise zerstört. Man ging daher zu einer andern Anordnung über. Es wurden noch vier Werke erbaut, die 510 bis 580 Fufs lang und durchschnittlich nur 400 Fufs von einander entfernt waren. Ihre Köpfe legte man auf 7 Fufs, und ihre Wurzeln auf 10 Fufs über gewöhnliches Hochwasser. Die Construction war dieselbe, wie früher, doch bildeten diesesmal grofse Steinblöcke, die man einige Fufs tief unter die Oberfläche des Strandes verlegte, das Fundament. Die Querschnitte der Werke waren Cycloiden, durch einen Kreis von 12 Fufs 9 Zoll Durchmesser beschrieben. Diese überaus massenhaften Werke widerstanden nicht nur ohne Beschädigung dem heftigsten Wellenschlag, sondern veranlafsten in kurzer Zeit auch die beabsichtigte Ausbildung des Strandes, indem der schwere Kies in wasserfreien hohen Rücken, sich zwischen den Köpfen ablagerte.

In eigenthümlicher Weise und mit gutem Erfolg hat man in neuster Zeit das Ufer vor dem Dorf Grandcamp ohnfern der westlichen Grenze des Département Calvados durch Einbaue

*) Civil engineer and Architect's Journal. 1849. Pag. 156.

gesichert*). Dieser kleine Ort, der von Fischern bewohnt und zugleich als Seebad von einiger Bedeutung ist, war einem starken Angriff ausgesetzt. Er liegt wenig über dem Hochwasser bei Springfluthen, und wurde vorzugsweise nur durch einen Kiesrücken geschützt, den die Wellen auf dem Strande aufgeworfen hatten. Bedeutende Tiefen von 20 bis 25 Fuſs sind nicht weit vom Ufer entfernt, während der unmittelbar davor liegende Strand flach ansteigt und etwa 2 Fuſs hoch mit Kieseln überdeckt ist. Unter diesen befindet sich eine 6 bis 12 Fuſs mächtige Thonschicht, die auf festem Kalk ruht. Bei starken Stürmen wurden die Kiesel zuweilen fortgetrieben, die Wellen griffen alsdann den Thon an, und in dieser Weise wich der Strand nach und nach zurück, und mehrere Gebäude des Dorfs muſsten schon verlassen und abgebrochen werden. Zunächst versuchte man durch eine Erdschüttung, die sich seewärts gegen Bohlwerke lehnte, den Einbruch der See zu verhindern. Die starke Brandung veranlaſste aber bald so groſse Vertiefungen davor, daſs man sich gezwungen sah, eine flache Dossirung zu bilden, welche mit roh bearbeiteten Kalkstein-Quadern von 15 Zoll Höhe überdeckt wurde. Doch auch diese bot keinen Schutz gegen Vertiefungen vor dem Fuſs der Dossirung, die sich gegen eine Pfahlreihe lehnte. Man versuchte daher, die bald in der einen, und bald in der andern Richtung vorbeitreibenden Kiesel durch Holzwände aufzufangen, die normal gegen den Strand gerichtet waren. Diese hatten allerdings den Erfolg, daſs auf einer Seite die angetriebenen Kiesel davor liegen blieben, auf der andern Seite bildeten sich aber so tiefe Rinnen, daſs die Wände umstürzten.

Um die Bewegung der Steine nicht ganz zu unterbrechen, sondern nur zu mäſsigen, erbaute man 1865 ein durchsichtiges Werk, in welchem die Pfähle etwa die Hälfte der Fläche schlossen, während die andere Hälfte frei blieb. Der Einbau war 160 Fuſs lang, und da er zugleich als Landebrücke dienen sollte, so gab man ihm die Breite von 32 Fuſs. Er bestand aus drei gegenseitig durch schräge Bänder gestützten Pfahlreihen und trug $2^1/_2$ Fuſs über dem Spiegel der äquinoctial Springfluthen eine Brücke. Jene Vertiefungen traten bei demselben nicht ein,

*) Annales des ponts et chaussées. 1871. I. pag. 432.

vielmehr wurden die Kiesel auf beiden Seiten aufgefangen und der Strand erhöhte sich daneben. Nach diesem günstigen Erfolg erbaute man 1869 weiter westlich noch zwei andre ähnliche Werke von 90 und 72 Fufs Länge. Diese bestanden jedoch nur aus je einer Reihe von Pfählen, deren freie Zwischenräume eben so grofs, wie die Stärke der Pfähle waren. Letztere wurden durch Zangen verbunden, und ähnlich wie die früher beschriebnen Stacken (Fig. 70 und 71) zu beiden Seiten durch schräge Streben unterstützt, deren untere Enden an kurze Pfähle genagelt waren. Die Werke erhoben sich am Ufer auf die Höhe der Aequinoctial-Springfluthen, und an ihren Köpfen, die $2\frac{1}{2}$ Fufs tiefer lagen, auf die der gewöhnlichen Fluthen. Auch diese beiden Werke zeigten dieselbe günstige Wirkung.

Ferner sind die Einbaue zu erwähnen, die man nachträglich vor die § 21 beschriebene Uferdeckung auf der Insel Norderney gelegt hat. Wohl in keinem andern Fall sind Werke dieser Art mit so grofser Vorsicht und so grofsen Kosten, wie hier, ausgeführt. Jene Deckung schützte zwar vorläufig das Ufer, aber der Strand davor wich stark zurück, und zwar geschah dieses nicht sowol auf der nördlichen Seite der Insel, wo der Wellenschlag doch am heftigsten sein mufste, sondern auf der westlichen, der Insel Juist zugekehrten Ecke. Die Veranlassung hierzu gab ohne Zweifel die bei jedem Fluthwechsel eintretende starke Strömung. Diese erklärt sich durch den weit ausgedehnten tiefen Busen zwischen dem Dollart und den davor liegenden Inseln, während die Watte zwischen den weiter östlich belegenen Inseln und dem Festlande bis zur Mündung der Jade durchschnittlich nur eine Meile breit und von tieferen Rinnen wenig durchschnitten sind. Indem nun vor Norderney sowol die Fluth, wie die Ebbe auf der Seeseite früher, als auf der Binnenseite eintritt, so mufs westwärts dieser Insel jedesmal eine heftige Strömung sich bilden, die noch dadurch verstärkt wird, dafs von Juist aus ein weit ausgedehntes Schaar die Oeffnung stark beengt. Es hat sich hier ein Kolk von mehr als 50 Fufs Tiefe gebildet, und vor demselben war in den zwei Jahren 1857 bis 1859 die Grenze des niedrigen Wassers sogar um 220 Fufs dem Deckwerk näher gerückt. Unbedingt mufste daher das letztere gesichert werden

und es wurden 1862 bis 1864 fünf Einbaue normal gegen das Ufer ausgeführt.

Dieselben sind 600 bis 670 Fuſs lang und im Hauptkörper an der Wurzel $18\frac{1}{2}$ und am Kopf 28 Fuſs breit. Ihre Köpfe liegen 1 Fuſs über Niedrigwasser der Springfluthen, ihre Wurzeln dagegen in der Höhe des oben erwähnten Sturzbettes oder Bankets am Fuſs der mit Quadern überdeckten Dossirung, an letztere schlieſsen sie sich also unmittelbar an, während ihre Kronen in gleichmäſsiger Neigung auf die ganze Länge abfallen. Die Kronen sind flach gewölbt, so daſs sie sich in der Mitte 1 Fuſs über die äuſsern Ränder erheben. Zwei Bermen umgeben den ganzen Bau. Diese liegen 1 Fuſs niedriger, als die Ränder des Hauptkörpers und sind an den Wurzeln der Einbaue durchschnittlich $7\frac{1}{2}$, an den Köpfen dagegen, die sie ganz umschlieſsen, 14 Fuſs breit.

Der Hauptkörper wird von Pfahlreihen begrenzt, drei andre Reihen durchsetzen ihn in seiner ganzen Länge, so daſs die Querschnitte fünf Reihen zeigen. Auſserdem sind in Entfernungen von 9 Fuſs auch nach der Quere solche Pfahlreihen gezogen, und in allen diesen sind die Pfähle möglichst schlieſsend eingerammt. Auf den Strand wurden zunächst über einander zwei Packwerk-Lagen, die nach der Höhe des Strandes $1\frac{1}{2}$ bis 3 Fuſs Stärke hatten, aufgebracht und 9 Zoll hoch mit Kieseln und Ziegelbrocken überdeckt. Darüber liegt eine Schicht roh bearbeiteter Quadern von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuſs Höhe. Die Bermen bestehn aus schwächern Faschinenlagen, sind gleichfalls mit solchen Quadern überdeckt und durch Pfahlreihen umschlossen. Die sämmtlichen Pfähle sind 5 bis 9 Fuſs lang und 4 bis 8 Zoll stark.

Diese Werke haben sich bisher nicht nur gut erhalten, sondern auch wesentlich den Strand erhöht, so daſs das Deckwerk in dieser Beziehung gesichert ist. Die Tiefe vor den Köpfen soll seitdem auch nicht zugenommen haben*).

Die Dänischen Küsten wurden schon früher an einzelnen besonders bedrohten Stellen durch Einbaue geschützt, doch wählte

*) Vorstehende Angaben sind aus der Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins. Band X. 1864. Seite 311 entnommen.

man dazu Steinkisten, die bis 6 Fuſs über das Wasser vorragten. Dieselben bedurften vielfacher Reparaturen und erfüllten wohl wenig ihren Zweck, indem die heftige Brandung neben ihnen tiefe Rinnen bildete. In neuerer Zeit hat man auch hier angefangen, Werke auszuführen, welche denjenigen auf Norderney einigermaaſsen ähnlich, jedoch in der Anordnung viel einfacher sind. Auf der Insel Falster ist ein über 300 Ruthen langes Ufer durch 38 Einbaue gesichert. Sie sind etwa 50 Fuſs lang, an den Köpfen 13 und an den Wurzeln 7 Fuſs breit. Ihre Köpfe liegen in der Höhe des mittlern Wasserstandes und die Wurzeln, die sich an den Strand anschlieſsen, etwa 3 Fuſs höher. Die Kronen sind wieder gewölbt und erheben sich 1 Fuſs über die Seitenränder. Kurze Pfähle, die etwas über die Krone hinausreichen, umschlieſsen sie, und sind nach der Länge der Werke in mehrern Reihen, so wie auch in einigen Quer-Reihen eingerammt. Auf einer Unterlage von Seetang ist der Kern aus kleinen Steinen angeschüttet, und gröſsere Geschiebe bedecken diese *). Die Wirkungen waren sehr günstig, woher diese Constructions-Art dort fernere Anwendung finden soll.

Die Preuſsische Ostsee-Küste zwischen der Mecklenburgischen und Russischen Grenze, die, abgesehn von den darin befindlichen Buchten, über 100 Meilen lang ist, weicht im Allgemeinen fortwährend zurück, indem sie durchweg dem Angriff des Meeres ausgesetzt ist. Mit Ausnahme weniger Stellen ohnfern ihrer westlichen Grenze besteht sie aus Diluvial-Formation, worüber Dünen sich gebildet haben, die stellenweise einige dahinter liegende Niederungen gegen Ueberfluthungen des angeschwollnen Meeres schützen. Aber diese Dünen, soweit sie nicht durch künstliche Vordünen gesichert werden, weichen stets zurück, und verschwinden oft ganz, während der Sand, aus dem sie bestehn, bei heftigen Winden in groſsen Massen auf das dahinter belegene Land fliegt, und dessen Ertragsfähigkeit so sehr beeinträchtigt, daſs der Boden häufig auf viertel und halbe Meilen Breite beinahe allen Werth verloren hat. Er dient nur zur spärlichen Viehweide, und wo Waldungen bis an den Uferrand

*) Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins. Band XX. 1874. Seite 631.

reichen, sind dieselben durch den Sandflug und die Seewinde so verwüstet, dafs der Werth der nächsten Ufer die Kosten der Deckung nicht erreicht. Wenn aber diese werthlosen Flächen im Meer versinken, so wird das nächste noch culturfähige Land in denselben Zustand versetzt, und in dieser Weise schreitet das Uebel immer weiter. Abhülfe ist also dringend geboten.

Durch sorgsame Pflege der Vordünen kann man freilich unter günstigen Localverhältnissen nicht nur das weitere Zurückweichen des Strandes, sondern auch die Versandungen im Binnenlande verhindern, vielfach aber und namentlich vor hohen Ufern und besonders wenn die See wenig Sand antreibt, läfst sich keine Vordüne bilden, und eben so wenig vor scharf vorspringenden Uferecken. Hier mufs also in andrer Weise für den nöthigen Schutz gesorgt werden.

Dafs Einbaue dazu geeignet sind, unterliegt keinem Zweifel. Dieses zeigte sich an unsern sämmtlichen Häfen, namentlich so lange die Molen noch nicht mit senkrechten Brustmauern, sondern seeseitig mit flachen Böschungen versehn waren. Neben denselben nahm der Strand meist sehr schnell an Höhe und an Breite zu, wodurch aber die Häfen gefährdet wurden. Aehnliche Constructionen konnten zum Uferschutz nicht gewählt werden, weil sie zu theuer waren, es mufste daher zu einfacheren Bauten übergegangen werden. Ein erster Versuch wurde vor etwa 40 Jahren auf der kleinen Insel Ruden gemacht, die den Greifswalder Bodden auf der Ostseite begrenzt und durch ein tiefes Fahrwasser getrennt, die Fortsetzung des nordöstlichen Ufers der Insel Usedom bildet. Der Ruden stellt sich als eine schmale Düne dar, die rings von Wasser umgeben ist. Die darauf eingerichtete Lootsen-Station gab vorzugsweise Veranlassung, für ihre Erhaltung zu sorgen, da sowol auf der Ost-, wie auf der Westseite und vorzugsweise auf der Nordseite der Strand, und mit demselben auch die Düne stark abbrach.

Die hier ausgeführten, sehr einfach construirten Werke sind von verschiedner Länge nach der Gestaltung des Ufers, auch treten ihre Köpfe keineswegs in eine vorher bestimmte Streichlinie, vielmehr sind sie jedesmal bis zu einer gewissen Wassertiefe, nämlich von etwa 3 Fufs, herausgeführt. Ihre Wurzeln liegen am Fufs der Düne etwa 2 Fufs über dem höchsten Wasser,

oder 6 Fufs über dem mittlern. Die Längen derselben wechseln zwischen 4 und 8 Ruthen. Der gegenseitige Abstand mifst etwa 5 Ruthen.

Jedes Werk ist in der Wurzel 5 Fufs und am Kopf 7 Fufs breit, letzterer liegt wenig über dem mittlern Wasserstande. Fig. 72 zeigt ihre Construction. Die Umschliefsung bilden Reihen von Pfählchen, deren jeder 6 Fufs lang und 4 Zoll stark ist. Sie werden in gegenseitigem Abstande von 1 Fufs mindestens 3 Fufs in den Sand eingetrieben, und über dem Grunde werden die einander gegenüberstehenden Pfähle durch Flechtruthen verbunden oder unter sich verankert. Demnächst werden die Pfahlreihen mit stärkern Kiefern-Zweigen umflochten, so dafs sie sich in Flechtzäune verwandeln, und endlich füllt man den Zwischenraum etwa 1 Fufs hoch mit den Abfällen des Kiefernstrauchs und mit Wachholder aus. Hierüber liegt die 2 Fufs hohe Steinpackung, die grofsentheils aus kleinem Geschiebe besteht.

Bei dieser sehr leichten Construction, deren Wahl nur darauf beruhte, dafs die dazu erforderlichen Baumaterialien mit den geringsten Kosten beschafft und in der einfachsten Weise verbunden werden konnten, traten vielfache Beschädigungen ein. Namentlich wurden die Köpfe bei starkem Wellenschlag leicht zerstört, und vorzugsweise erfolgte dieses, indem an derjenigen Seite des Werks, die vom Winde abgekehrt ist, die überschlagenden Wellen solche Vertiefungen veranlassen, dafs die Pfähle aufschwimmen, wogegen auf der andren Seite der Sand sich stark ablagert.

Im Allgemeinen ist jedoch ein günstiger Erfolg nicht zu verkennen. Auf der östlichen oder der Seeseite hat sich sogar ein breiter Strand gebildet, der über die Werke hinaus sich erstreckt, während auf der westlichen Seite die meisten Werke bis an ihre Köpfe versandet sind. Nur auf der Nordseite genügt diese leichte Construction nicht, und hier sind stets starke Zerstörungen eingetreten und das Ufer ist zurückgewichen. Wenn in den letzten Jahren mehrfach davon die Rede war, diese höchst wichtige Lootsenstation aufzugeben, und die Insel ihrem Schicksal zu überlassen, so gab hierzu nicht etwa eine Gefahr in Beziehung auf die Uferdeckung Veranlassung, vielmehr das Verwehen der Düne, welche bisher die Gebäude schützte, und die bei dem fortwährenden willkürlichen Betreten von jeder Vegetation

entblöfst wurde. Dieser Uebelstand wird bei einer strengern Aufsicht sich leicht beseitigen und der fehlende Schutz sich wieder herstellen lassen.

Sehr wichtig ist eine andre, weit ausgedehnte Anlage dieser Art. Das nach Nord-Ost gerichtete Ufer der Insel Usedom ist auf 4 Meilen Länge flach convex, während sehr nahe dahinter das Achter-Wasser liegt. Der am weitesten vortretende Punkt ist der Streckelberg, auf dem eine weit sichtbare Baake steht. Das Lehmufer, das hier vom Strande aus steil ansteigt, wurde von dem sehr heftigen Wellenschlag bei Nord-Ost-Stürmen in starken Abbruch versetzt, und wich langsam zurück. Als die Baake vom Uferrande nicht mehr weit entfernt war, mufste für die Erhaltung derselben gesorgt werden. Da das Terrain landwärts sich aber stark senkt, so würde das Signal, wenn es zurückgestellt werden müfste, nicht nur tiefer stehn, sondern auch durch die Waldung verdeckt werden.

Im Jahr 1858 wurde daher ein Deckwerk von 22 Ruthen Länge und 15 Fufs Breite aus schweren Granitgeschieben ausgeführt. Die Höhenlage bestimmte sich nach der damaligen Beschaffenheit des Strandes, der so hoch war, dafs er unter gewöhnlichen Witterungs-Verhältnissen einen bequemen Fahrweg bildete. Der Fufs des Deckwerks lag etwa 1 Fufs über dem gewöhnlichen Wasser, und lehnte sich 5 Fufs darüber an die natürliche Böschung des Hochufers an. Es stützte sich seewärts gegen eine starke Pfahlwand, in der die freien Zwischenräume nur wenige Zolle maafsen, auch an beiden Seiten waren solche Pfahlwände ausgeführt. Die Unterlage bildete eine Strauchpackung, die mit kleinen Steinen bedeckt war, und darüber befand sich die ziemlich regelmäfsig versetzte Lage gröfserer Geschiebe, von denen jeder einzelne Block wenigstens einige Cubikfufs enthielt. Diese Steine fanden sich meist auf der Baustelle selbst vor. Sie waren beim Abbruch des Ufers herabgestürzt und lagen zerstreut auf dem Strande oder vor demselben im flachen Wasser der See.

Gleich im ersten Winter zeigte sich, dafs diese Art der Befestigung nicht genügte. Die Sandablagerung vor dem Deckwerk wurde angegriffen und fortgespült, so dafs bei gewöhnlichem Wasserstande die Tiefe unmittelbar daneben etwa 2 Fufs betrug. In der Steindecke selbst waren unregelmäfsige Versackungen

eingetreten, die zwar eine Ausbesserung erforderten, doch keineswegs den ganzen Bau bedrohten. Viel bedenklicher war es dagegen, dafs die überschlagenden Wellen das natürliche Ufer dahinter stark angriffen und eine tiefe Rinne bildeten, in der das übergeworfne Wasser an beiden Seiten hinter dem Werk abflofs. Diese Rinne schlofs sich zwar vorübergehend durch neue Abstürzungen von dem hohen Ufer, nichts desto weniger war es nothwendig, diesen Zerstörungen Einhalt zu thun. Es wurden deshalb von dem Deckwerk aus fünf Anschlüsse, aus Steinpackungen zwischen Pfählen bestehend, gegen das Ufer geführt und an dieses noch etwas heraufgezogen. Wenn dieselben auch einer starken Vertiefung der Rinne vorbeugten, die allerdings besonders gefährlich geworden wäre, so konnten sie das Gegenschlagen der Wellen und sonach den weitern Abbruch des Ufers doch nicht verhindern. Sie selbst waren aber durch den Ueberlauf des aufgefangenen Wassers sehr starken Beschädigungen ausgesetzt, und mufsten daher vielfach erneut werden, wobei mit Fortlassung der Pfähle nur gröfsre Steine verwendet wurden.

Besonders bedenklich erschien die Vertiefung an der äufsern Seite des Deckwerks, welche in Kurzem die Zerstörung desselben zur Folge haben mufste. Um dieses zu verhindern, wurde im Jahr 1859 mit der Ausführung von Einbauen, in ähnlicher Art, wie auf dem Ruden, der Anfang gemacht, es ergab sich aber bald, dafs der Wellenschlag hier viel heftiger als dort war, und es mufsten daher die Steine, wie die Pfähle gröfsere Dimensionen erhalten, und letztere zugleich tiefer eingerammt werden.

Im Allgemeinen wurde noch dieselbe Construction beibehalten. Für diejenigen Werke, die vor der vorspringenden Ecke liegen, wurden Pfähle von 8 Fufs Länge und 8 Zoll Stärke angewendet. Für die seitwärts belegenen Einbaue genügten dagegen Pfähle von 6 Fufs Länge und 6 Zoll Stärke. Die Einen wie die Andren sind von Mitte zu Mitte im Abstande von 1 Fufs eingerammt. Die Köpfe der Werke erreichten äufsersten Falls nur die Tiefe von 3 Fufs unter dem mittlern Wasserstande, und indem die Pfähle hier noch 1 Fufs darüber vortraten, so standen sie meist mit der Hälfte ihrer Länge im Sande. Weiter landwärts stiegen die Pfahlreihen an, so dafs sie an der Stelle, wo sie auf den Strand treten, etwa 4 Fufs über den mittlern

Wasserstand reichten. Die Werke setzten sich aber über den Strand fort bis zum Fuſs des hohen Ufers, in welches sie auch einbanden.

Ein Ausflechten der Pfähle konnte bei ihrer Stärke nicht statt finden, es muſsten daher zur Auspackung so groſse Steine gewählt werden, daſs die Zwischenräume das Hindurchfallen derselben verhinderten. Dieses war auch schon deshalb nothwendig, weil die Steine sonst bei dem heftigen Wellenschlag zu leicht über die Pfahlköpfe herausgeworfen wären. Indem nun die Packung jedesmal niedriger blieb, als die umgebende Pfahlwand, so lagen die obern Steine um so sichrer, je weniger Breite das Werk hatte. Auch in andrer Beziehung war eine groſse Breite entbehrlich. Die starken Pfahlwände gaben dem Bau schon solche Festigkeit, daſs es einer Vermehrung seiner Masse nicht bedurfte, wodurch die Kosten wegen der hohen Preise der Steine sich sehr vergröſsert haben würden. Hiernach wurde die Breite der Werke auf 3 Fuſs beschränkt.

Nachdem die Pfähle eingerammt waren, wurde der innere Raum bis etwa 1 Fuſs über Wasser mit Strauch ausgepackt, auch in der Fortsetzung auf dem Strande bildete man eine starke Unterlage von Strauch. Hierauf wurden die Steine, die mindestens 1 Cubikfuſs hielten, durchschnittlich $1\frac{1}{2}$ Fuſs hoch aufgebracht. Die Strauchunterlage drückte sich dabei so zusammen, daſs die Steine bis unter die Pfahlköpfe herabsanken.

Durch solche Werke wurde in vier Jahren bis 1862 eine Uferstrecke von 300 Ruthen Länge, nämlich 100 Ruthen auf der nordwestlichen und 200 Ruthen auf der südöstlichen Seite des Streckelberges verbaut. Im Ganzen kamen bis dahin 76 Werke zur Ausführung, die also durchschnittlich $4\frac{1}{2}$ Ruthen von einander entfernt waren, doch ist ihr Abstand geringer, wo ein besonders starker Angriff zu besorgen war. Die Längen der Werke sind verschieden. Vor dem Deckwerk selbst maaſsen dieselben 9 Ruthen, zu beiden Seiten desselben 14 Ruthen, und an beiden Enden, wo sie an die Strandlinien sich anschlossen, 6 Ruthen.

Im Allgemeinen war durch diese Anlagen der wesentliche Vortheil erreicht, daſs der Strand, also die Grenze zwischen demselben und dem mittlern Wasserspiegel der Ostsee, nicht mehr zurückwich, und daſs zwischen den Werken die Tiefe

sich wesentlich verminderte, also sehr grofse Sandmassen durch sie aufgefangen waren. Bei gewissen Winden lagen einzelne dieser Sandflächen trocken, es kam sogar vor, dafs sie zuweilen bis über die Köpfe der Werke hinaustraten. Doch blieben sie mehr oder weniger ein Spiel der Wellen und der Strömungen und erschienen bald an einer, bald an der andern Stelle, aber verschwanden niemals ganz. Sie tragen also unbedingt zur Schwächung der gegen die Ufer laufenden Wellen wesentlich bei.

Eine Erhöhung des Strandes, die allerdings besonders wünschenswerth war, ist nicht eingetreten, wenn solche auch vorübergehend hin und wieder sich zeigte. Auf dem Ruden war eine solche unverkennbar vielfach erfolgt, und da dieselben Wirkungen auch hier erwartet wurden, so gab man den Werken diejenige Höhe, in der man den Sand aufzufangen wünschte. Sie sollten also gleichsam Chablonen für die Ablagerung sein.

Diesen Zweck erfüllten sie aber so wenig, dafs nach jedem Sturm auf der einen oder der andern Seite der Werke tiefe Rinnen im Strande entstanden, die sich auch in dem unter Wasser liegenden Theil fortsetzten. Dieses erklärt sich dadurch, dafs die auflaufenden Wellen durch die vortretenden Wände aufgehalten werden, also hier gröfsre Wassermassen sich sammeln, die beim Zurückfliefsen nach der See diese Rinnen ausbilden. Eine ähnliche Erscheinung tritt auch vor denjenigen Theilen ein, die im Wasser stehn. Hiernach war die gewählte Höhe der Werke nicht nur ohne Nutzen, sondern sogar schädlich.

Eine andre an diesen Bauten gemachte Erfahrung führte noch zu einer wesentlichen Vereinfachung der Construction, wodurch die Anlagekosten sich aufserordentlich verminderten. Die Steine wurden nämlich bei hohem Seegange leicht über die Pfahlwände hinübergeworfen, und eben so geschah es auch häufig, dafs in Folge der erwähnten Vertiefungen die Pfähle ihren festen Stand verloren und alsdann von den Steinen übergedrückt und vollends gelöst wurden. So verschwand häufig stellenweise die eine Pfahlwand, und mit ihr die Steinbeschwerung, während zugleich das Strauch fortschwamm. In dieser Weise blieb vom ganzen Bau nur eine einzige Pfahlwand übrig. An dieser traten aber, wenn nicht zufällig Eis dagegen trieb, dem auch das volle Werk nicht widerstehn konnte, keine weitern Beschädigungen ein,

und sie erhielt sich dauernd unversehrt. Es lag demnach der Gedanke sehr nahe, das Strauch und die Steine fortzulassen, und nur die beiden Pfahlwände beizubehalten, die, wenn sie unmittelbar an einander gestellt wurden, sich gegenseitig unterstützten. Dabei wurden die Pfähle so versetzt, wie Fig. 105 auf Taf. XVII zeigt. Die sämmtlichen Pfähle einer Reihe deckten nämlich die freien Zwischenräume in der andern. Diese Zwischenräume waren ungefähr 3 Zoll weit.

Um dabei noch eine Ersparung an Holz einzuführen, wurde der Versuch gemacht, die Pfähle diametral zu spalten, und sie wieder in zwei Reihen so neben einander zu stellen, dafs sie mit den ebenen Flächen sich berührten und gegenseitig die Fugen überdeckten. Dieser Versuch mifslang indessen, da es zu schwierig war, halbcylindrische Pfähle senkrecht einzurammen.

Dagegen ist mehrfach nur eine einzige Pfahlreihe zur Ausführung gekommen, in welcher die Pfähle unmittelbar an einander gestellt wurden (Fig. 105 *a*). Solche Wände zeigten sich ganz genügend. An einer längern Uferstrecke wurden abwechselnd die Werke aus einer und aus zwei Pfahlreihen bestehend ausgeführt, und bei späterer Untersuchung wurden in beiden Fällen in Betreff der Versandung die Erfolge übereinstimmend gefunden, während auch in den vorgekommnen Beschädigungen kein Unterschied sich herausstellte.

Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs diese Werke, wenn sie sich über den Strand erheben, gewöhnlich hinterspült werden, und vor ihren Wurzeln tiefe Rinnen sich bilden. Wenn man sie aber über die ganze Breite des Strandes fort bis in das höhere Ufer verlängerte, so wurde letzteres in dem Anschlufspunkt stark abgebrochen und wich soweit zurück, dafs wieder eine tiefere Rinne dazwischen lag.

Nach diesen Erfahrungen konnte die Construction wesentlich vereinfacht werden, und wenn gleich auch hierbei Beschädigungen hin und wieder eintraten, so hat diese Bauweise doch überall sich bewährt, wo nur einige Sorgfalt darauf verwendet wurde. Nicht nur das Zurückweichen des Strandes wird verhindert, sondern grofse Sandmassen lagern sich zwischen die Werke und in vielen Fällen hat der Strand sich auffallend verbreitet.

Zunächst müssen die Tiefen vor dem zu schützenden Ufer

gemessen und aufgetragen werden, denn von ihnen sind die Längen abhängig, die man den Werken geben darf. Die leichte Constructions-Art, von der hier die Rede ist, läfst sich nicht bequem auf gröfsre Tiefen, als von 4 Fufs anwenden. Wenn daher der Grund steil abfällt, so mufs man geringere Längen wählen, doch beinahe jedesmal konnte man die Werke 100 Fufs lang machen, ohne die gröfsere Tiefe zu erreichen. Nur selten lag auch Veranlassung vor, eine gröfsere Länge zu wählen. Der Abstand je zweier Werke von einander ist äufsersten Falls dem Sechsfachen der Länge gleich, während man gemeinhin das Vierfache, auch wohl nur das Doppelte wählt. Oft sah man sich gezwungen, zwischen je zwei Werke nachträglich noch ein neues zu legen, wenn in der Mitte der Intervalle gar keine Sandablagerungen bemerkbar waren.

Die Werke werden normal gegen die allgemeine Richtung des Ufers gelegt, auch sorgt man dafür, dafs ihre Köpfe in eine regelmäfsig gekrümmte Streichlinie fallen, die an beiden Enden ungefähr dem Strande sich anschliefst. Hierdurch giebt man der Küstenströmung eine bestimmte Richtung und verhindert dieselbe, zwischen die Einbaue einzutreten.

Mag nun die einfache oder die doppelte Pfahlreihe gewählt werden, so ist es unbedingt nothwendig, die sämmtlichen Pfähle so tief einzurammen, dafs ihre Köpfe im Niveau des mittlern Wasserstandes liegen, wie Fig. 105*a* zeigt. Die Wellen müssen frei darüber schlagen, denn nur in diesem Fall wird die nach der See gerichtete starke Rückströmung und mit derselben auch die Vertiefung zur Seite verhindert. Die Pfahlwand darf aber nicht aufhören, wo sie den trocknen Strand berührt, weil derselbe leicht zurückweicht, und alsdann der Einbau hinterspült würde. Man mufs daher den Bau noch soweit in den Strand hinein fortsetzen, als ein mögliches Zurückweichen desselben zu besorgen ist, aber auch hier dürfen die Pfähle nicht über den mittlern Wasserstand vortreten. Wäre dieses der Fall, und wiche der Strand zurück, so würde wieder sogleich eine gröfsre Tiefe sich bilden, und das Werk würde, wie vielfach geschehn ist, hinterspült werden. Es hält immer sehr schwer, die Bauaufseher von der Zweckmäfsigkeit dieser Anordnung zu überzeugen, sie meinen immer, dafs der Erfolg um so gröfser ist, je

mehr Höhe man der Pfahlwand giebt, und in dieser Beziehung wird, wenn nicht strenge Controlle eingeführt ist, von den Projecten vielfach abgewichen und der Erfolg vereitelt.

Die Pfähle, die man verwendet, sind Rundholz und zwar Kiefern, äufsersten Falls 8 Fufs lang, auch nicht leicht über 8 Zoll stark. Indem es als Regel angenommen wird, dafs sie immer 4 Fufs tief im Grunde stecken müssen, so wählt man bei geringerer Wassertiefe kürzre und schwächre Pfähle. Da der Kopf eines Werks aber vorzugsweise dem Angriff des Eises ausgesetzt ist, und neben demselben leicht eine Vertiefung sich bildet, so stellt man ihn aus etwas längern Pfählen dar, als nach obiger Regel die Tiefe fordern würde, und stützt ihn aufserdem noch durch drei dagegen gerammte Pfähle.

Bei den ersten sowol auf dem Ruden, wie auch am Streckelberge ausgeführten Einbauen wurden die Pfähle nur mit Handrammen eingetrieben, indem leichte Rüstungen über Böcke gelegt wurden und hierauf die Arbeiter standen. Bei Anwendung der längern und schwerern Pfähle sah man sich aber gezwungen, zum Gebrauch leichter Zugrammen überzugehn, wodurch die Arbeit wesentlich beschleunigt wurde. Dieser Umstand ist aber von grofser Bedeutung, da nur bei ziemlich ruhigem Wasser gearbeitet werden kann.

Die Pfähle, welche diese leichten Rüstungen tragen, werden nur mit Handrammen eingestofsen, und oft wählt man dabei die in Theil I, § 35 beschriebene Anordnung, wonach der einzutreibende Pfahl selbst diese Rüstung und die darauf stehenden Arbeiter trägt. Das Setzen derselben macht aber bei der geringen Wassertiefe und namentlich im Sommer keine Schwierigkeit, während man auch auf starken Bohlen, die am hintern Ende beschwert sind, hinreichend weit über die begonnene Rüstung hinaus treten kann.

Auf diese Rüstung wird die leichte Zugramme gestellt, und 6 bis 8 Arbeiter setzen dieselbe in Bewegung, indem ein Rammklotz von 2 oder $2^1/_2$ Centner Gewicht zum Eintreiben der leichten Pfähle genügt. Den Aufsetzer kann man bei diesen Arbeiten nicht entbehren, da die Pfähle sämmtlich soweit herabgeschlagen werden müssen, bis ihre Köpfe den mittlern Wasserstand erreicht haben. Das Abschneiden der Köpfe, nachdem die Pfähle ein-

gerammt sind, darf aber nicht gestattet werden, weil man in diesem Fall keine Controle über das hinreichend tiefe Eindringen hat. Ich bemerkte einst an den sämmtlichen Pfahlköpfen eines so eben vollendeten Werks die frischen Sägeschnitte. Dieselben erklärten hinreichend, weshalb gerade in diesem Baukreis die Einbaue immer viel stärker, als sonst irgendwo, beschädigt und zerstört wurden.

Der grofse Nutzen dieser Werke besteht darin, dafs sie die Annäherung der Tiefe an den Strand, und damit auch das Zurückweichen desselben verhindern. Der Strand vor dem Streckelberge ist in den 20 Jahren, seitdem diese Bauten begonnen wurden, nicht nur in der Begrenzung des Wassers vollständig erhalten, sondern auch an manchen Stellen seeseitig vorgegangen. Dagegen mufs zugegeben werden, dafs eine dauernde Erhöhung desselben nicht eingetreten ist, und dafs alle Versuche zur Bildung von Vordünen auf ihm fehlgeschlagen sind.

Etwa eine halbe Meile weiter nordwestlich bei Damerow ist in neuerer Zeit gleichfalls ein System solcher Einbaue und zwar ganz den obigen Regeln entsprechend zur Ausführung gekommen. Der Zweck dabei war, die Verbindung der Ostsee mit dem nahe dahinter liegenden Achter-Wasser zu verhindern. Die frühern, ziemlich niedrigen Dünen, waren hier vollständig durchbrochen, und wiederholentlich waren bei heftigem Seegang die Wellen bereits in das Binnenwasser übergeschlagen, sie hatten die Strafse von Swinemünde nach Wolgast zerstört und drohten, dem Achter-Wasser eine neue Mündung in die See zu eröffnen, wodurch die Schiffbarkeit der Peene, also auch der wichtige Handel von Wolgast wesentlich gefährdet werden konnte.

Es wurde hier zunächst der entstandene Einrifs durchdämmt, um aber das Ufer zu sichern, kamen die Einbaue zur Ausführung und dieselben haben viel gröfsere Erfolge, als vor dem Streckelberge herbeigeführt, indem die Verlandung sich vollständiger ausbildete und der Strand soweit sich verbreitete, dafs die Einleitung zur Bildung von Vordünen getroffen werden kann.

Auch im Cösliner Regierungsbezirk sind an verschiednen Stellen und zwar mit der sorgfältigsten Innehaltung jener Regeln Werke dieser Art zur Ausführung gebracht, und sie haben sich nicht nur gut gehalten, sondern auch sehr günstige

Erfolge, und namentlich auch die Verbreitung des Strandes herbeigeführt. Die gröfste Wirkung solcher Einbaue zeigte sich aber am Ufer des sogenannten Fischlandes bei Wustrow, etwa 1 Meile südlich von der Preufsisch-Mecklenburgischen Grenze. Es zieht sich hier eine schmale und niedrige Landzunge zwischen dem Meer und dem Saaler Bodden hin. Letztrer mündet in Verbindung mit einer Reihe von Binnenseen 6 Meilen östlich in die Proner Wieck, im Norden von Stralsund, und diese steht theils durch eine flache und theils durch eine lang ausgezogne etwas tiefere Mündung mit der Ost-See in Verbindung. Die erwähnte Landzunge scheint auch wiederholentlich durchbrochen zu sein, und mehrfach ist ein künstlicher Durchstich und die Anlage eines Hafens daselbst projectirt worden. Da jedoch der Saaler Bodden nur sehr mäfsige Tiefe hat, also ein Schiffahrtsweg bis Ribnitz und Dammgarten schwer darzustellen und zu erhalten sein würde, so schien es gerathener, die erwähnte Landzunge, die stark abbrach, zu erhalten und zu sichern. Nach meinem Vorschlag waren hier etwa 70 solcher Werke theils in einfachen und theils in doppelten Pfahlreihen erbaut. Man hatte dabei aber die Aenderung eingeführt, dass man die Pfahlreihen über den schmalen Strand bis zur Höhe des dahinter liegenden Uferrandes ansteigen liefs. Diese Aenderung zeigte hier den überraschenden Erfolg einer sehr starken Erhöhung des Strandes. Einzelne Werke waren in ihren Wurzeln bis zur vollen Höhe verschüttet, und hatten daher in der That wie Chablonen gewirkt.

Die Verhältnisse sind aber hier ganz anders, als an den Preufsischen Küsten, wo ähnliche Anlagen zur Ausführung kamen. Das Ufer erstreckt sich nahe von Süden nach Norden, und ist nur wenig östlich gerichtet. Die heftigsten Stürme von Nordost sind also ohne Wirkung und die Weststürme streichen über eine wenig ausgedehnte Wasserfläche, in welche überdies die Deutschen und Dänischen Inseln weit vortreten. Gewifs hängen jene günstigen Erfolge auch mit der Beschaffenheit des vorbeitreibenden Materials zusammen, das hier nicht in feinem Sand, vielmehr in grobem Kies besteht, der mit kleinen Steinen vermengt ist, die bis 6 Zoll im Durchmesser halten. Der grobe Kies wird freilich bei starkem Seegange, ähnlich dem Sande, auf den Strand hinaufgeworfen, und rollt wieder herab. Dieses sieht man nicht

nur, sondern es giebt sich auch durch das Gehör zu erkennen. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber darin, dafs der Strand viel steiler dossirt ist, als wenn er aus Sand gebildet wäre. Der Kies wird wegen des gröfsern Gewichts weniger leicht in Bewegung gesetzt, auch fliefst das Wasser der auflaufenden Welle durch die weiten Zwischenräume schneller zurück. Hieraus erklärt es sich, dafs Kies leichter aufzufangen ist, als Sand, wofür im Folgenden auch noch eine andre Erfahrung erwähnt werden wird.

Wenn nach diesen Mittheilungen vor sandigen Ufern, die dem vollen Angriff der See ausgesetzt sind, durch diese Einbaue das Zurückweichen des Strandes verhindert werden kann, so bleibt noch die Frage offen, in welcher Art man den Strand erhöhen kann, um das dahinter belegne Ufer gegen die Wellen zu sichern, oder das Uebertreten der letztern zu verhindern. Durch die Bildung von Vordünen ist dieses allerdings möglich, aber es wird sich aus dem Folgenden ergeben, dafs es nicht früher geschehn kann, als bis der Strand bereits eine gewisse Höhe und Breite erreicht hat. Fehlen solche, so werden bei hohem Seegange alle Zäunungen oder Pflanzungen, die man ausgeführt hat, durch die auflaufenden Wellen zerstört. Als der Dünenbau vorlängs der Küste von Pommern noch unter Forstverwaltung stand, sah ich wiederholentlich den Strand mit verschiedenen Sträuchern bepflanzt, die auch während des Sommers kräftig anwuchsen, aber im Spätherbst jedesmal durch hohen Seegang so zerstört wurden, dafs sie im nächsten Frühjahr spurlos verschwunden waren.

Es ist auch der Versuch gemacht worden, jene Pfahlbuhnen beim Anschlufs an das höhere Ufer nicht geschlossen, sondern mit offnen Zwischenräumen zwischen den einzelnen Pfählen ansteigen zu lassen. Dabei blieb der Erfolg indessen nahe derselbe, wie bei den dichten Wänden, indem gleichfalls tiefe Rinnen daneben sich bildeten. Nichts desto weniger zeigen die oben erwähnten vor dem Dorf Grandcamp im Département Calvados mit durchsichtigen Pfahlwänden gemachten Versuche, dafs solche allerdings grobes Material auffangen und den Strand erhöhen.

Nach mehrfachen Erfahrungen läfst sich aber unter günstigen

Verhältnissen durch eine andre Art von Einbauen selbst der feine Sand über dem gewöhnlichen Wasserstande auffangen. Wie bereits früher (§ 6) erwähnt ist, treiben die schräg auf den Strand auflaufenden Wellen den aus der Tiefe gelösten Sand mit sich und lassen ihn fallen, wo sich ein Hinderniss findet. Sobald aber dieses Hinderniss auch die Bewegung des Wassers unterbricht, so fliefst dasselbe seitwärts ab, und reifst dabei auch den abgelagerten Sand mit sich fort. Vor Einbauen, die sich hoch über das Wasser erheben und mit steilen Wänden versehn sind, kann daher keine Sandablagerung sich bilden, vielmehr entstehn daneben jene tiefe Rinnen, welche sogar die Werke in Gefahr versetzen. Der Seiten-Abflufs des Wassers wird auch um so bedenklicher, je regelmäfsiger und ebener die Wand geformt ist. Niedrige Strauchbuhnen, die sich nur wenig, etwa 1 oder höchstens 2 Fufs über den Strand erheben, und dabei seitwärts flach abfallen und durch die vortretenden Zweige eine rauhe Oberfläche haben, wirken dagegen anders, und verhindern die Bildung jener Rinnen.

In dieser Weise hatten mehrere Strauchbuhnen vor der Straminker Forst (am Seestrande nordwärts von Barth im Stralsunder Regierungsbezirk) schon früher günstig gewirkt, und neuere Versuche mit ähnlichen, jedoch schwächeren Buhnen veranlassten gleichfalls merkliche Erhöhungen des Strandes.

Die einfachste Construction derselben besteht darin, dafs zwei Reihen Pfähle das Werk einschliefsen, wobei sowol die Pfähle unter sich, wie die beiden Reihen derselben 3 Fufs von einander entfernt sind. Dazwischen werden Faschinen in der Längenrichtung des Einbaues bis zur beabsichtigten Höhe gepackt, und damit sie nicht forttreiben, spannt man darüber um die Pfähle Eisendrähte. Vortheilhaft ist es, die Faschinen so zu legen, dafs ihre Wipfelenden etwas schräge zwischen den Pfählen vortreten.

Diese Bauart hat indessen, wenn die Ueberdeckung mit Sand nicht bald eintritt, wenig Festigkeit, und bedarf vielfacher Instandsetzungen. Es empfiehlt sich daher nicht, sie in der ganzen Länge der Werke beizubehalten, vielmehr sie unter dem Spiegel des Mittelwassers in eine einfache niedrige Pfahlwand übergehn zu lassen.

Die am Strande östlich von Darser-Ort ausgeführten Strauch-

buhnen waren ursprünglich im Abstande von je 25 Ruthen von einander erbaut, während sie durchschnittlich 10 Ruthen lang waren. An vielen Stellen zeigte sich jedoch, dafs ihre gegenseitige Entfernung zu grofs sei, indem sie das dazwischen liegende Ufer nicht hinreichend deckten. Wenn demnach diese Bauart auch möglichst einfach und wohlfeil ist, so stellen sich die Kosten derselben doch ziemlich hoch, und ein Erfolg ist nur zu erwarten, wenn der Küstenstrom reichlich Sand zuführt. Ueberdiefs sind sie sehr bedeutenden Angriffen durch die See ausgesetzt, man mufs also auch die Unterhaltungskosten bis zu ihrer Ueberdeckung mit Sand in Betracht ziehn. Wollte man sie so verstärken, dafs sie der Zerstörung durch heftigen Seegang entzogen werden, so würde man zu Constructionen geführt werden, die denjenigen auf Norderney ähnlich wären, die aber ohne Vergleich viel kostbarer sind.

§ 24.

Uferschutz bei Petten.

Die bereits mehrfach erwähnten Anlagen zur Erhaltung des bedrohten Ufers zwischen den Dörfern Petten und Kamp in Nord-Holland gehören ohne Zweifel zu den wichtigsten Ausführungen dieser Art. Vor einigen Jahrhunderten wurden sie bereits begonnen und indem man sie bis jetzt fortgesetzt hat, so sind dabei so wichtige Erfahrungen gemacht, dafs die Zusammenstellung derselben gewifs von Interesse ist.

Beim Abbrechen der Ufer wurde die früher hier vorhandene Dünenkette bedroht und ist stellenweise ganz verschwunden, während das reiche dahinter belegene, sehr niedrige Terrain jedenfalls gegen den Eintritt der See gesichert werden mufste. Dieses ist zum Theil durch Ausführung von Deichen geschehn, die in geringer Entfernung hinter den bedrohten Dünen liegen, aufserdem hat man aber die ganze Uferstrecke von 1370 Ruthen, oder zwei Drittel Deutsche Meilen Länge nicht nur mit einem sehr soliden Deckwerk umschlossen, sondern dieses noch durch sieben und dreifsig davorliegende Höfter, oder buhnenartige Einbaue gesichert.

Wie sehr dieses Ufer dem Angriff ausgesetzt war und perio-

disch zurückgedrängt wurde, ergiebt sich unter andern daraus, dafs das Dorf Petten, soweit die geschichtlichen Nachrichten reichen, dreimal, nämlich 1421, 1570 und 1625 weiter landwärts versetzt werden mufste. Wie weit man dabei jedesmal zurückging, ist nicht bekannt, wohl aber weifs man, dafs das Gemeindehaus bei Petten im Jahre 1627 um 130 Ruthen zurückgelegt wurde, und es damals über 40 Ruthen vom innern Fufs der Dünen entfernt war, während es gegenwärtig bereits innerhalb derselben steht. Die Düne hat sich aber keineswegs verbreitet, vielmehr, während sie zurückwich, sich verschmälert. Nach manchen andern Erfahrungen kann man annehmen, dafs in den 84 Jahren von 1670 bis 1754 das Ufer der westlichen Küste von Nord-Holland stellenweise um 100 Ruthen und sogar noch mehr zurückgedrängt ist. Cordes, aus dessen Mittheilungen diese Angaben entnommen sind*), macht darauf aufmerksam, dafs die Küste von Nord- und Süd-Holland, von der nördlichen Spitze gegenüber Texel bis gegen die Mündung der Maas eine flache Concave bildet, dafs aber aus dieser das Ufer zwischen Petten und Kamp in convexer Krümmung heraustritt. Er spricht dabei die Vermuthung aus, dafs dieses Ufer, wenn man es nicht geschützt hätte, gegenwärtig so weit, als es jetzt vortritt, bereits vom Meere verschlungen sein würde. Zugleich erwähnt er, dafs man 4 und 5 Wegstunden von der Küste entfernt in der See noch denselben Torfboden vorfindet, der in Holland von der Marsch-Erde überdeckt ist, und sonach sich hieraus auf die im Lauf der Zeit erfolgte Abnahme des Landes schliefsen lässt.

Der Abbruch des niedrigen Strandes und der dahinter liegenden Dünen erfolgt nach Cordes in der Art, dafs bei südwestlichen Stürmen, wobei der Wellenschlag am heftigsten ist, weil alsdann die Bewegung aus dem Canal sich bis an die Holländische Küste fortsetzt, der Strand vorzugsweise angegriffen wird, und sowol an Breite, als an Höhe verliert. Sobald dagegen der Sturm mehr nach Norden sich wendet, so schwillt das Wasser an und alsdann tritt besonders die Zerstörung der dahinter liegenden Dünen ein. Grofse Sandmassen stürzen von diesen auf den

*) Verhandelingen van het koninklijk Instituut van Ingenieurs 1855—1856. pag. 138 ff.

Strand herab, und ganz allgemein, wie durch mehrfache Beobachtungen nachgewiesen wird, nimmt der letztere dabei wieder an Breite zu, während er auch an Höhe gewinnt. Auf solche Weise wird der Sand, aus dem die Düne besteht, theils der See zugeführt und fortgespült, während ein andrer Theil desselben bei Seewinden landwärts fliegt und das langsame Zurückweichen der Dünen veranlasst.

Bei der grofsen Gefahr, welche hier den reichen dahinter liegenden Niederungen droht, sind die Niederländischen Hydrotecten stets bemüht gewesen, sichere Schutzmittel dagegen aufzufinden, und vielfach sind dieselben, so wie auch ihre Erfolge ausführlich beschrieben. Unter diesen Mittheilungen zeichnet sich besonders die § 21 bereits angeführte Preisschrift von J. F. W. Conrad aus, die nicht nur mit Kritik die historischen Nachrichten zusammenstellt, und aus den bisherigen Erfahrungen die Grundsätze herleitet, die man ferner zu befolgen habe, sondern die wegen der sorgfältigen und klaren Auffassung und Behandlung des Gegenstandes als Muster für ähnliche Untersuchungen gelten kann. Sie zeichnet sich auch dadurch aus, dafs der Verfasser das bisher Geleistete anerkennt, und nur in Einzelheiten Aenderungen vorschlägt.

Die nachstehenden Mittheilungen sind grofsentheils aus dieser Schrift entnommen, die sich zwar nach dem Titel nur auf den Hondsbosch bezieht, aber dem Inhalt nach auch den Uferschutz und die Deiche vor Petten betrifft. Beide Strecken sind bis zur neusten Zeit stets sehr gleichmäfsig behandelt. Ihre Beziehung zu einander ist in § 17 nachgewiesen.

Der erste Versuch zum Schutz dieser Dünen, ist, soweit Nachrichten vorhanden sind, ein Erlass des Herzogs Philipp von Burgund vom Jahr 1446, worin das Betreten der Dünen zwischen Petten und Camp durch Vieh verboten wird, „weil dasselbe die Gräser abfrisst, und der dadurch entblöste Sand vom Winde landwärts getrieben wird.“

Bei einer Besichtigung der Dünen im Jahr 1464 fanden sich darin viele Einrisse und namentlich ein sehr tiefer vor Petten. Derselbe sollte mit Gräsern bepflanzt werden, um durch diese den gegentreibenden Sand aufzufangen.

1466 befahl Philipp von Burgund einen dieser Einrisse

auszuschütten, und denselben, so wie die übrigen zu bepflanzen, auch den Sand davor aufzulockern, damit er in gröfserer Masse hier antreibe, aufserdem sei aber zur Sicherung des dahinter belegenen Landes ein Schlafdeich (Binnendeich) von Petten südwärts nach den Dünen zu führen. Dabei wird erwähnt, dafs die Dünen jährlich um 1 bis $1^1/_2$ Ruthen zurückweichen.

Es mufs bemerkt werden, dafs in dieser Zeit eine Entwässerung in die See bei Petten nicht mehr bestand, dafs aber früher, etwa bis 1250 die Zaane, die gegenwärtig bei Zaandam sich in das Y ergiefst, unmittelbar bei Petten und zwar auf der Südseite des Dorfs in die Nordsee geflossen zu sein scheint.

Nachdem im Februar 1501 die Dünen bei schweren Stürmen sehr gelitten hatten, liefs Philipp der Schöne ihren Zustand untersuchen und befahl, dafs die Einrisse, namentlich ein solcher vor der Kirche bei Petten, wieder zugeschüttet und mit Gräsern bepflanzt werden sollten.

Bald darauf wurde mit Anlagen zum Schutz des Ufers der Anfang gemacht. Ende 1505 befahl der Hof von Holland die Erbauung von vier vortretenden Werken, nämlich drei vor Petten und eins in der Mitte des Hondsbosches. Im folgenden Jahr kamen dieselben zur Ausführung. Jedes war 275 Fufs lang, 12 Fufs breit und bestand aus zwei Reihen eichener Pfähle, wozwischen Faschinen gepackt und mit Steinen überdeckt waren. Aufserdem wurde vor Petten das Ufer auf 137 Ruthen Länge durch zwei Pfahlreihen gedeckt. Eine derselben, aus eichenen Pfählen bestehend, stand vor dem Fufs der Düne, und die zweite 27 Fufs davon entfernt auf dem Strande. Letztere war aber nicht geschlossen, sondern die Pfähle liefsen zwischen sich freie Zwischenräume von 1 Fufs Breite. Zwischen beiden Pfahlreihen wurde der Sand möglichst tief ausgegraben und durch Kleiboden ersetzt, den man mit Hürden oder Flechtwerken aus Reisern überdeckte. Gegen die äufsere Wand nagelte man aber eichene Bohlen. Endlich wurde noch in der Achse jedes Einbaues eine dichte Pfahlreihe bis zu den Dünen fortgeführt.

Aufserdem empfahl der Hof auch im Hondsbosch auf 160 Ruthen Länge ähnliche, aber schwächere Pfahlwände auszuführen. Diese scheinen jedoch unterblieben zu sein. Dagegen wurde Ende 1506 die Ausführung von noch vier solchen

Einbauen anbefohlen, und ein Jahr später abermals der Bau von einem oder zweien zur Sicherung einer besonders stark angegriffenen Stelle beschlossen. Auch 1508 kamen wieder zwei neue Einbaue, so wie die Verlängerung der Pfahlwände im Anschlufs an die abgebrochnen Dünen zur Ausführung.

Wenn diese grofsartigen und kostspieligen Anlagen in damaliger Zeit die höchste Bewunderung erregen, so erwiesen sie sich doch sehr bald als ungenügend. Schon in den Stürmen am Ende des Jahres 1508 traten starke Beschädigungen an ihnen ein, und weit gröfser war die Zerstörung der ungeschützten Dünen, die in zwei Stürmen 4 Ruthen breit abgebrochen wurden.

Seit dieser Zeit ist die Unterhaltung der Werke zwar nicht aufgegeben, im Gegentheil sind noch einige neue ähnliche Anlagen hinzugefügt, aber der frühere Eifer scheint doch bald erkaltet zu sein, und die Darstellung des Schlafdeichs, der das Binnenland schützen sollte, wenn die Dünen ganz durchbrächen, wurde immer eifriger zur Sprache gebracht. Die in den folgenden Jahren gemachten Erfahrungen ergaben, dafs die Uferdeckungen und Einbaue keineswegs nutzlos gewesen waren, vielmehr das weitere Eindringen der See, wenn auch nicht ganz verhindert, doch wesentlich vermindert hatten. Gleichzeitig stellte sich aber auch heraus, dafs die Unterhaltung dieser Anlagen überaus kostbar sei. Nichts destoweniger beschlofs die Deichverwaltung im Jahr 1529, die Vertheidigung nicht aufzugeben, vielmehr die vorkommenden Beschädigungen auszubessern und wo es nöthig wäre, neue Werke auszuführen.

In dieser Weise verfuhr man bis zum Jahr 1550. Die frühere natürliche Düne hatte sich inzwischen bei der darauf verwendeten Aufmerksamkeit in einen Sanddeich verwandelt, und vor dem Fufs desselben lagen zwei und zwanzig Einbaue. In den beiden letzten Decennien waren besonders auffallende Zerstörungen der Ufer nicht vorgekommen. Dagegen wurden in den schweren Stürmen im Jahr 1550 sowol die Einbaue und Uferdeckungen, wie auch die natürlichen Dünen sehr stark beschädigt. Dasselbe geschah auch in den beiden folgenden Jahren, und wenn gleich die Befestigung des Sanddeichs durch Ueberdeckung mit Kleierde, sowie sonstige Sicherungsmaafsregeln anbefohlen wurden, so kamen diese doch nicht zur Ausführung,

und im Allgemeinen wurden die bisherigen Anlagen nicht mehr unterhalten, und wenn sie zerstört waren, auch nicht wieder hergestellt.

1570 trat die Fluth an drei Stellen über den Hondsbosch, ohne jedoch sehr tiefe Einrisse zu veranlassen, worauf der Schlafdeich zur vollständigen Ausführung kam. Derselbe mufste zwei Jahre später auch bereits an die Stelle dieser Düne treten, die aufs Neue durchbrochen war, und nunmehr ganz aufgegeben wurde. Der neue Deich lag 1624 etwa 100 Ruthen hinter den Dünen und war in der Sohle 264 und in der Krone 36 Fufs breit.

1704 mufste die Kirche in Petten abgebrochen und weiter landeinwärts verlegt werden. Jede weitere Vertheidigung des Ufers wurde unterlassen, man wich vor den Einbrüchen der See zurück, und die Chroniken preisen es als eine besondere Gnade Gottes, dafs der von den verlassnen Dünen antreibende Sand sich auf die neuen Rückdeiche legte und dieselben verstärkte.

Nachdem 1745 wieder das Rathhaus in Petten, so wie auch etwa funfzig andre Gebäude daselbst abgebrochen und weiter landeinwärts aufgebaut, auch 1754 die davor liegenden Dünen besonders stark angegriffen waren, stellte die Holländische Academie der Wissenschaften die folgenden Preisfragen:

1) Aus welchem Grunde ist der Strand vor Petten und am Hondsbosch seit einigen Jahren so stark zurückgewichen?

2) Welches ist das beste Mittel, um denselben zu schützent oder auch

3) ihn seewärts weiter auszudehnen?

Der Preis wurde Melchior Bolstra zuerkannt. Derselbe meint, dafs der verstärkte Angriff durch die Zurücklegung des Schlafdeichs veranlasst sei, indem die Deichpütten, woraus bei seiner ersten Aufführung die Erde entnommen worden, nunmehr vor dem Deiche lägen, und dadurch der Wellenschlag verstärkt werde. Er empfahl daher, diesen Deich wieder etwas weiter herauszulegen. Zur Gewinnung von Vorland sollten Einbaue von 30 Ruthen Länge in die See geführt werden, welche gegen die von Norden kommende Strömung declinant gerichtet wären, und deren Kronen vom gewöhnlichen Hochwasser bis 2 Fufs unter gewöhnliches Niedrigwasser abfielen. Ein Theil dieser Einbaue

sollte aus zwei Pfahlreihen bestehn, wozwischen Faschinen und schwere Steine gepackt würden, der andre Theil, der nur Zwischenwerke bildet, sollte dagegen nur aus einzelnen Pfahlwänden dargestellt werden. Da ein sicherer Anschlufs an das Ufer gar nicht vorgesehn war, so ist Conrad der Ansicht, dafs diese Werke, wenn sie ausgeführt wären, was nicht geschehn ist, beim ersten Sturm sich vom Ufer getrennt haben würden.

Indem nun während 200 Jahren die Vertheidigung des Ufers aufgegeben war, und man sich nur darauf beschränkt hatte, die schwachen Sanddeiche oder Dünen weiter landwärts zu verlegen, und durch Bepflanzung oder durch unmittelbare Anschüttungen nothdürftig zu erhöhen, so kann es nicht befremden, dafs gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts die Gefahr eines Durchbruchs übermäfsig grofs wurde. Die Krone des Deichs, die früher auf 10 Ruthen Breite unterhalten wurde, maafs stellenweise nur $1\frac{1}{2}$ Ruthen und war dabei so niedrig, dafs die Wellen oft überschlugen. Dazu kam noch, dafs die seeseitigen Dossirungen bei jedem Sturm steiler wurden und kaum noch erhalten werden konnten.

In dieser drohenden Gefahr wandte sich 1793 die Genossenschaft an den Generaldirector des Wasserstaates C. Brunings, der durch Erbauung einiger massiven Buhnen das Dorf ter Heide wesentlich gesichert hatte. Zunächst wurde nun durch sorgfältige Aufnahmen der gegenwärtige Zustand festgestellt, und Brunings empfahl, acht Höfter auszuführen, auch durch starke Bermen auf der Binnenseite des Deichs das immer wiederholte Saeken desselben zu verhindern. 1796 kamen endlich diese acht Einbaue zur Ausführung. Sie waren 40 Ruthen lang und traten normal gegen das Ufer vor. Ihre Breite nahm von der Wurzel nach dem Kopf von 51 auf 60 Fufs zu, und der Kopf bildete einen Halbkreis von 30 Fufs Radius. Die Wurzel lag 9 Fufs und der Kopf 3 Fufs über Niedrigwasser. Die Werke bestanden aus einer Faschinenlage, die in je 2 Fufs Abstand mit 6 Zoll hohen Zäunen besetzt war. Die Zwischenräume der letztern wurden mit Ziegelbrocken gefüllt. Eine zweite darüber befindliche Faschinenlage trat 6 Zoll zurück und war oben abgerundet. Gleiche Zäune und Ziegelschüttungen wurden darüber angebracht, und mit schweren Steinen von Doornik bedeckt, deren jeder

zwischen 150 und 600 Pfund wog. Endlich wurden noch vor jede laufende Ruthe 3 Last oder nahe 1 Schachtruthe Steine verstürzt.

Der Deich erhielt nur die Kronenbreite von 12 Fufs, die jedoch in der Höhe von 16 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser lag. Seine äufsere Böschung war 10füfsig, seine innere 4füfsig. Bei dem Sturm Ende desselben Jahres wurde der Deich vielfach stark angegriffen, während die Einbaue wenig Beschädigungen zeigten.

Man schritt nun mit der Sicherung des Ufers kräftig vor, und 1811 waren neunzehn Einbaue vor Petten und vor dem Hondsbosch ausgeführt, doch zeigte sich, dafs mehrfach die Entfernung derselben zu grofs sei. Endlich ging man auch zur unmittelbaren Deckung des Ufers durch Steinböschungen über, dieselben waren $3^1/_2$füfsig geneigt, und erhoben sich bis nahe 12 Fufs über gewöhnliches Hochwasser. Schwere Steine von Doornick wurden auf eine Schüttung von Ziegelbrocken versetzt, und letztere lag auf einer Faschinen-Bettung.

Man fing bald darauf auch an, in den zu grofsen Zwischenräumen zwischen den Werken noch kürzere zu erbauen. 1822 sah ich diese Anlagen. Die ältern Einbaue, wie auch die in ähnlicher Weise ausgeführten kürzern befanden sich in gutem Zustande, dagegen war die Steindossirung vor dem Ufer auf grofse Strecken vollständig zerstört. Die Umwandlung der natürlichen Dünen in Deiche war streckenweise erfolgt, und da dieselben erst vor Kurzem wiederhergestellt waren, so zeigten sie sehr regelmäfsige Profile. Die Krone, wie auch die äufsere Dossirung war mit Strandgräsern bepflanzt, der untere Theil der letztern jedoch nur durch eingesteckte Strohbüschel befestigt.

Bei einem starken Sturm 1825 wurde die Steinböschung beinahe vollständig zerstört. Dieselbe ist seitdem nicht wieder hergestellt, dagegen fing man 1827 an, den Sand mit Kleierde zu überdecken. Ein gleichzeitiger Versuch, auch die äufsere Dossirung bis $13^1/_2$ Fufs über gewöhnlich Hochwasser durch Faschinen mit Flechtzäunen darüber zu schützen, erwies sich bald als ungenügend.

Auch andere Beschädigungen traten vielfach ein. Die Einbaue trennten sich beim Abbruch des Ufers von demselben, und

um die Kosten des Wiederanschlusses nicht zu grofs werden zu lassen, gab man die Köpfe auf, und benutzte die darauf liegenden Steine zur Ueberdeckung der neuen Wurzeln. Auch die Deiche wurden angegriffen, und mussten wiederholentlich durch neue Anschüttungen verstärkt werden.

1835 empfahl der Ober-Ingenieur Grinwis die Erbauung lothrecht stehender Pfahlwände am Fufs des Deichs, um die Wellen zu brechen und ihren Angriff gegen den letztern zu mäfsigen, zugleich aber auch um einen sichern Anschlufs für die Einbaue zu gewinnen. Er berief sich dabei auf die Erfolge einer ähnlichen Anlage, die er vor einigen Jahren nordwärts von Petten ausgeführt hätte.

1837 genehmigte die Regierung diesen Vorschlag. Es sollten Pfahlwände, zusammen 160 Ruthen lang, an denjenigen Stellen des Hondsbosches erbaut werden, die besonders bedroht würden. An dieselben sollten die Einbaue in der Art angeschlossen werden, dafs die Köpfe derselben möglichst gleichmäfsig davon entfernt bleiben.

Im folgenden Jahr wurde die von Brunings empfohlne Binnenberme ausgeführt, auch wurden Pfahlwände von den Einbauen bis zur Dossirung des Deichs gezogen. Die Pfähle wurden durch Zangen verbunden und zum Theil durch eine 9 Fufs breite Lage schwerer Steine, die auf Faschinen ruht, gesichert.

Bei einem starken Sturm 1829 wurden nichts desto weniger eine Anzahl Einbaue wieder durchbrochen und vom Ufer getrennt, auch litt der Deich so sehr, dafs man einen vollständigen Durchbruch besorgen mufste, es zeigte sich aber, dafs diese Beschädigungen geringer blieben, wo die senkrechte Pfahlwand davor ausgeführt war.

Der Ingenieur van Gendt hatte schon 1836 die Construction der Pfahlwand in nachstehender Weise angeordnet. Beschlagene Tannenhölzer, von denen jedes vierte eine gröfsere Stärke hat, sollten dicht schliefsend neben einander eingerammt, und zwar etwas rückwärts geneigt werden, nämlich im Verhältnifs 1 : 20. Sie sollten sich $9\frac{1}{2}$ Fufs über gewöhnliches Hochwasser erheben. Auf die Binnenseite, 1 Fufs unter den obern Rand der Wand sei eine Zange zu legen, die an jeden der stärkern Pfähle angebolzt und in Abständen von 13 Fufs durch eine schräge Stütze

gegen den Stofs der Wellen gesichert wird. Hinter die Wand wäre eine 2 Fufs breite Steinkiste zu legen, die an der Rückseite durch schwache Pfähle und davor gelegte Bohlen eingeschlossen, mit Strauch, kleinen Steinen, Ziegelbrocken und darüber mit 1 Fufs hohen schweren Steinen gefüllt, in der Krone 5 Fufs über gewöhnliches Hochwasser träte. Vor der Pfahlwand sei der Grund durch ein 10 Fufs breites Pflaster, das auf Strauch und Ziegelbrocken ruht, zu sichern. Aus diesem sollten jedoch eine grofse Anzahl kleiner Pfählchen 4 Zoll hoch vortreten, um die auflaufenden Wellen zu brechen. Endlich sollten in der Pfahlwand mehrere Oeffnungen mit abgepflasterten Rinnen angebracht werden, damit das überschlagende Wasser nach der See abfliefsen könnte.

Storm Buysing*) beschreibt die von 1836 bis 1850 hier ausgeführten Einbaue und Schutzwerke sehr eingehend und erläutert dieselben durch Zeichnungen, die mit einigen Aenderungen, welche ich 1863 bemerkte, hier wiedergegeben sind.

Fig. 73 zeigt den Grundriss eines dieser Einbaue mit der anschliefsenden Uferbefestigung. Das Werk ist auf die ersten 240 Fufs Länge 19 Fufs breit, von hier ab verbreitet es sich allmählig bis auf 30 Fufs, und wird am Kopf von einem Halbkreise begrenzt, der mit dem Radius von 15 Fufs beschrieben ist. Die Krone, mit einer starken Steinlage gedeckt, erhebt sich in ihrem Anschluss an das Uferwerk 1 Fufs 5 Zoll über das gewöhnliche Hochwasser, und bleibt am äufsern Ende oder am Kopf 5 Fufs 1 Zoll darunter, oder sie liegt hier in dem Niveau des gewöhnlichen Niedrigwassers. In ihrer Mitte befindet sich eine dichte Pfahlwand von $6\frac{1}{2}$ Zoll Stärke, die auf der Landseite 3 Fufs 2 Zoll über das Hochwasser sich erhebt, am Kopf dagegen 4 Fufs 2 Zoll darunter bleibt, dieselbe ragt also an der Wurzel des Werks um 1 Fufs 9 Zoll und am Kopfe um 11 Zoll über die Steindecke hervor.

Zur Befestigung der Steindecke sind aufserdem am Rande der Krone und auf derselben vier Pfahlreihen in dem schmalern Theile des Baues, und im breitern sechs solche angebracht, wie die punktirten Linien in derselben Figur angeben, auch sieht

*) Bouwkundige Leercursus. I. Theil. Breda 1854. pag, 648.

man darin einige Quer-Reihen. Der Zweck dieser Pfähle, die von allen Seiten das Pflaster umschliefsen, ist kein andrer, als eine weite Ausdehnung der Zerstörung zu verhindern, falls einzelne Steine beim Wellenschlage abgehoben und fortgeschleudert werden sollten.

Fig. 74 *a* und *b* zeigt die beschriebene Construction der Einbaue im gröfsern Maafsstab, und zwar in der Ansicht von der Seite und im Querschnitt. Der äufserste Theil, etwa auf 130 Fufs Länge ruht auf einem Senkstück, das oben wie unten mit einem Rost von Würsten versehn ist. Ueber diesem, so wie in dem übrigen Theil sind Packlagen nach der in den Niederlanden üblichen Methode (§ 36 im zweiten Theile dieses Handbuchs) aufgebracht, wobei die Stamm-Enden der Faschinen immer nach aufsen gekehrt werden und nur wenig gegen einander zurücktreten, so dafs die Böschungen sehr steil ausfallen. Der letzte Umstand ist nicht bedenklich, da die Wassertiefe zur Seite sehr mäfsig bleibt. Nachdem die Packlage mit Würsten benagelt und mit Ziegelgrufs beworfen war, was jedesmal vor dem Eintritt des nächsten Hochwassers geschehn mufste, ging man sogleich zum Einrammen der Pfähle über. Soweit diese nicht die Mittelwand bilden, bestehn sie aus Eichenholz, haben 6 Fufs Länge und 6 Zoll Stärke und werden in Abständen von 15 bis 18 Zoll von Mitte zu Mitte, also in solchen Entfernungen eingerammt, dafs die Steine, welche die obere Decke bilden, nicht hindurchfallen können. Man sorgt aber dafür, dafs die Pfahlköpfe noch etwa 6 Zoll über die Oberfläche dieser Steindecke vorragen, damit sie zuerst den Stofs der auflaufenden Wellen aufnehmen. Die mittlere Wand, deren Höhe und Stärke bereits angegeben ist, besteht aus schwachen Kiefern-Pfählen, die beschlagen, $11\frac{1}{2}$ Fufs lang und bei verschiedener Breite $6\frac{1}{2}$ Zoll stark sind. Sie werden möglichst dicht schliefsend stumpf an einander gerammt und nahe unter den Köpfen durch zwei gegenüberliegende Zangen verbunden. Zur Befestigung derselben wird durch jeden vierten Pfahl ein Bolzen hindurchgezogen, der auf der einen Seite mit einem Kopf und auf der andern mit einer schmalen Oese zur Aufnahme eines Splints versehn ist. Dafs auf beiden Seiten Unterlagsscheiben angewendet werden, bedarf kaum der Erwähnung, doch mufs hinzugefügt werden, dafs diese Pfahlwände zuweilen sehr

grofsen Beschädigungen durch den Seewurm ausgesetzt sind, und deshalb mehrfach bedeutende Theile der Wand beim Wellenschlage abgebrochen werden. Um dieses zu verhindern hat man in neuerer Zeit theils die tiefer liegenden Theile der Wand, bis etwas unter die Steindecke mit Nägeln beschlagen, deren quadratisch geformte, sehr grofsen Köpfe sich unmittelbar berühren, theils aber auch die Hölzer vor dem Gebrauch mit Metall-Oxyden getränkt. Diejenigen Pfähle, welche nicht durch die erwähnten Splintbolzen mit den Zangen verbunden sind, werden noch durch 8zöllige Nägel an die eine oder die andere Zange befestigt.

Endlich wird möglichst regelmäfsig und zwar flach gewölbt die Steindecke aufgebracht. Dieselbe besteht grofsentheils aus Kalkstein-Blöcken von Doornick, die ziemlich fest sind und am wohlfeilsten zu beschaffen waren. Sie brechen lagerhaft und in gröfsern Stücken, man verwendete nur solche, die 10 bis 12 Zoll stark waren, und einige Quadratfufs Oberfläche hatten.

Diese Einbaue schlossen sich unmittelbar an das Ufer-Deckwerk an, dessen wesentlicher Theil in einer dicht schliefsenden starken Holzwand bestand. Dieselbe ist aus kiefernen Pfählen zusammengesetzt, die vollkantig beschlagen sind und 9 Zoll im Gevierten messen, ihre Länge beträgt 20 Fufs. Sie werden so tief eingerammt, dafs ihre Köpfe, nachdem sie übereinstimmend abgeschnitten sind, $9\frac{1}{2}$ Fufs über das gewöhnliche Hochwasser sich erheben. Zu ihrer Verbindung dient eine starke Zange an der innern Seite ohnfern des Kopfes, an welche jeder einzelne Pfahl genagelt ist. Damit die hohe Wand dem starken Stofs der Wellen hinreichend Widerstand leisten kann, wird sie in Abständen von $12\frac{1}{2}$ Fufs durch einen eichenen Pfahl, der als Strebe wirkt, unterstützt. Derselbe ist 23 Fufs lang, und wird, nachdem die Wand bereits steht und abgeschnitten, auch mit der Zange versehn ist, über der Wand sehr schräge eingerammt, alsdann mit einer Klaue versehn, und im Kopf so abgeschnitten, dafs er, nachdem er herabgedrückt worden, sowol gegen die Pfahlwand sich lehnt, als auch mit der Klaue die Zange umfafst. Ein starker eiserner Bügel, der sich um ihn schlingt, wird endlich unter der Zange durch die Pfahlwand gesteckt, und hier über Unterlags-Scheiben durch Splinte in beiden Enden fest angezogen.

Demnächst dient zur Sicherung der Wand, und namentlich um eine starke Vertiefung auf ihrer innern Seite durch den Abflufs des beim Sturm überschlagenden Wassers zu verhindern, noch eine davor gestellte Kiste. Es werden nämlich in solchem Abstande, dafs in der Oberfläche ein Zwischenraum von 2 Fufs sich bildet, Pfähle von 9 Zoll Durchmesser und 11 Fufs Länge in der Entfernung von 4 Fufs von Mitte zu Mitte senkrecht eingerammt, und daran bis zur halben Höhe der dichten Pfahlwand eine Bohlenverkleidung angebracht. Diese Wand erhebt sich 4 Fufs 8 Zoll über gewöhnliches Hochwasser. Der Raum zwischen ihr und der Pfahlwand wird nach der Höhe des Bodens 2 bis 4 Fufs hoch mit Strauch ausgepackt, darüber bringt man eine 2 Fufs hohe Lage von Ziegelbrocken auf, und über dieselbe gröfsere Steine. Indem das überschlagende Wasser auf diese Kiste senkrecht herabstürzt, so ist eine solide Bettung der Steine dringend geboten.

Endlich mufste die Pfahlwand auch auf der Seeseite gegen Ausspülung gesichert werden. Dieses geschah, wie dieselbe Figur zeigt, durch eine 10 Fufs breite Steindossirung, die derjenigen auf den Einbauen ziemlich gleich war. Sie stützte sich in ihrem Fufs gegen eine Reihe kürzerer Pfähle und eine solche ist auch in der Mitte durch sie hindurchgezogen. Sie erhebt sich neben der Pfahlwand eben so hoch, wie die Krone der Einbaue, fällt aber ziemlich steil ab. Wie es scheint, waren die Doorniker Steine hier ursprünglich nur auf eine Faschinen-Bettung versetzt, doch ist später überall, wo eine Sackung eintrat, eine Bettung von Mauerschutt oder Ziegelbrocken angebracht.

Von wenig Bedeutung ist die in neuerer Zeit eingeführte Aenderung der Befestigung der Strebepfähle gegen die hohe Pfahlwand, welche Fig. 75 zeigt. Nachdem nämlich diese Wand mit der bereits erwähnten Zange verbunden ist, so schneidet man an der Stelle, wo ein Strebepfahl eingesetzt werden soll, den Kopf eines Pfahls ab, und in die so gebildete Oeffnung stellt man den Strebepfahl, der in schräger Richtung eingerammt, und alsdann mittelst eines starken Bolzens an die Zange befestigt wird, die selbst durch Bolzen mit den einzelnen Pfählen der Pfahlwand verbunden ist. Der Kopf des Strebepfahls wird demnächst noch durch eine zweite Zange überdeckt, er greift aber

durch die Pfahlwand hindurch und ist an seinem Ende durch einen starken aufgetriebenen Ring gegen das Aufreifsen gesichert. Später hat man noch sehr passend die Aenderung eingeführt, dafs die schrägen Streben nicht eingerammt, sondern ihr Fufs jedesmal an einen senkrecht stehenden Pfahl befestigt wird.

Demnächst ist später auch die Steinböschung vor der hohen Pfahlwand auf 48 Fufs und die Kiste dahinter auf $3\frac{1}{2}$ Fufs verbreitet, wie Fig. 77 *a* zeigt. Von den Versuchen, die dichte Pfahlwand durch eine durchsichtige zu ersetzen, war bereits § 21 die Rede.

Noch ist zu erwähnen, dafs die hohe Pfahlwand, welche den Strand von den Dünen und dem dahinter liegenden Lande trennt, in Entfernungen von 200 Ruthen mit Oeffnungen oder Durchgängen versehn ist, die so weit sind, dafs man auch mit Wagen hindurchfahren, und sonach die Baumaterialien zur Instandsetzung der Einbaue an den Strand bringen kann. Die Wand ist in solchem Fall auf 2 Ruthen Länge unterbrochen, damit aber die Wellen durch diese Oeffnungen nicht frei hindurch treten und die Düne stark beschädigen, so setzt sich von der nördlichen Wand ein Flügel, der etwa 30 Grade von der Richtung derselben abweicht, so weit vor die Oeffnung fort, dafs er diese deckt, und nur bei südlichen Winden, die jedoch keine starke Bewegung veranlassen, treten die Wellen noch schräge über den Strand und über die Einbaue fort in die schmalen Oeffnungen ein.

In vorstehend beschriebener Weise war das Ufer vor Petten und vor dem Hondsbosch vier Jahrhunderte hindurch behandelt worden, und namentlich in den letzten 70 Jahren hatte man sehr bedeutende Kosten darauf verwendet, ohne jedoch gegen spätere Einbrüche vollständig gesichert zu sein. Man wurde zweifelhaft, ob das bisherige Verfahren angemessen, und ob nicht vielleicht durch andre und einfachere Mittel den Angriffen der See vorzubeugen sei. Die Abgeordneten der Provinz Nordholland stellten daher 1862 bei der Regierung den Antrag, dieselbe möge durch eine Commission von Sachverständigen untersuchen lassen, in welcher Weise im Auslande, namentlich in Frankreich, Belgien und in Dänemark, die Ufer gegen Abbruch gesichert werden. Der Minister des Innern lehnte diesen Antrag

keineswegs bestimmt ab, sondern hielt es nur für angemessen, dafs zuvor die Berichte über die Erfolge der verschiedenen Versuche zur Deckung der Niederländischen Küsten eingeholt würden.

Ohne Zweifel wäre die Frage in Betreff der bisherigen Wirkungen, welche die Einbaue bei Petten gehabt haben, mit gröfserer Sicherheit zu beantworten gewesen, wenn man jedesmal vor Erbauung neuer Werke genaue Peilungen bis zu gröfsern Tiefen angestellt hätte, um sie mit spätern vergleichen zu können. Dieses ist jedoch vor der Nordholländischen Küste erst seit 1843, und vor der Südholländischen seit 1857 geschehn, indem die Lage des Fufses der Dünen und die Grenzen des gewöhnlichen Hoch- und Niedrigwassers ermittelt wurde. Auch ist seit dieser Zeit durch Nivellements die Höhe des Strandes festgestellt. Hieraus ergab sich, dafs in den letzten zwanzig Jahren das Ufer an denjenigen Stellen, wo es durch Deckung und Einbaue geschützt war, nicht zurückgewichen ist.

Anfang 1864 stellte, wie bereits erwähnt, die Genossenschaft der Dünen vor dem Hondsbosch und vor Petten eine Preisaufgabe in Betreff der folgenden drei Fragen:

1) Ist es angemessen, das bisher verfolgte Verfahren zum Schutz des Ufers ferner beizubehalten, und welche Verbesserungen sind dabei anzubringen oder welche Vorsichts-Maafsregeln einzuführen?
2) Ist es bei der unzweifelhaften Thatsache, dafs die Dünenkette in den letzten Jahren stark abgebrochen ist, noch rathsam, die bisherige Art der Vertheidigung gegen die See durch Einbaue, Uferdeckung und Deiche ferner fortzusetzen, oder mufs man sich auf eine Zurücklegung der Dünen und Deiche gefafst machen?
3) Wenn das bisherige Verfahren unhaltbar ist, welches andre ist dafür zu wählen, und in welcher Art und Weise kann man von dem einen zum andern übergehn.

Nachdem Conrad in der Schrift, welcher der Preis zuerkannt wurde, die Nachrichten über die bisherige Vertheidigung dieses Ufers sehr eingehend zusammengestellt hat, sagt er:

„Die Geschichte des Hondsbosches lehrt uns deutlich die Ursachen kennen, denen das Zurückweichen des Ufers zugeschrieben werden mufs.

„Von 1446 bis 1506 zog man nach jeder Sturmfluth die Düne landwärts zurück, und wie sehr man auch von 1506 bis 1529 und noch mehr bis zum Jahr 1548 mit günstigem Erfolg zur Vertheidigung übergegangen war, so wurden doch die künstlichen Anlagen, wegen mangelhafter Unterhaltung und schlechter Verwaltung bald wieder der See Preis gegeben.

„Das mit vielen Kosten verbundene Zurückweichen vor der See, das 1555 eingeführt und bis 1793 fortgesetzt wurde, veranlaſste alle Unglücksfälle, deren die Geschichte erwähnt. Vorzugsweise das Gefühl der Sicherheit hinter den zurückliegenden Schlafdeichen hatte die Vernachlässigung des Uferschutzes, wogegen schon 1525 gewarnt war, zur Folge.

„Bei Anwendung unvollkommener Vertheidigungs-Mittel war man von 1793 bis 1839 noch zum Zurückgange gezwungen, nachdem man aber im letzten Jahr zu einem wirksamen Verfahren übergegangen ist und dieses jährlich noch verbessert hat, ist der Deich am Hondsbosch nicht zurückgelegt und liegt noch, der höchsten Sturmfluthen ohnerachtet, an derselben Stelle, wo er aufgeführt wurde."

Zunächst behandelt Conrad die Frage, ob die örtlichen und natürlichen Verhältnisse vielleicht in neuerer Zeit sich verändert haben, und deshalb die Ufer jetzt stärker als früher angegriffen werden. Er weist nach, daſs seit 1525 der Fluthwechsel vor Petten derselbe geblieben ist, also auch die Fluth- und Ebbeströmung vor dem Ufer sich nicht verändert haben kann. Ferner hat sich keine tiefe Rinne vor dem Ufer gebildet, denn die Steine, welche man zu den Deckungen vor dreihundert Jahren benutzte, liegen noch ziemlich flach unter Wasser und werden bei starkem Wellenschlage aufgeworfen. Die Untiefe vor Petten, die Pettemer Bank oder auch der Pettemer Polder genannt, existirte schon in frühester Zeit, und hat sich wenigstens seit 140 Jahren nicht verändert. Aus diesen Umständen wird der Schluſs gezogen, daſs das Ufer gegenwärtig keiner gröſsern Gefahr, als früher, ausgesetzt sei.

Hiernach spricht Conrad sich unbedingt für die fernere Vertheidigung des bestehenden Ufers und Deiches aus und zwar unter Beibehaltung desselben Verfahrens, welches bereits erprobt ist. Er empfiehlt jedoch manche Aenderungen in den Einzel-

heiten der Ausführung, die seitdem auch eingeführt sind. Von letztern ist bereits die Rede gewesen, nämlich Betreffs des Deiches § 17, der Uferdeckung § 21 und der Einbaue § 22. Aus der spätern Mittheilung von Conrad über den Deich bei Petten*) ergiebt sich aber, dafs man bei diesen Vorschlägen zu Verbesserungen keineswegs stehn geblieben, sondern bemüht gewesen ist, nach den jedesmaligen Erfahrungen die Ausführungen immer vollkommener darzustellen.

§ 24 a.

Bildung neuer Ufer.

Es bleibt noch übrig, einige Mittheilungen zu machen über die Bildung neuer Seeufer und namentlich über die Schliefsung weiter Oeffnungen zwischen dem Meer und Binnenseen. Veranlassung dazu findet sich freilich nur selten, doch treten dabei Schwierigkeiten ein, ähnlich denen bei Schliefsung von Deichbrüchen, die nicht unerwähnt bleiben dürfen.

Zunächst mag von der Schliefsung eines Durchbruchs in einer lang gestreckten Insel die Rede sein, und sodann von dem Versuch zur wasserfreien Erhöhung einer hohen Sandbank und zum Anschlufs derselben an das Ufer.

Die Insel Hiddens-Oe ist gröfsten Theils noch keine Viertel-Meile breit und zieht sich nahe in der Richtung von Norden nach Süden auf $2\frac{1}{2}$ Meilen Länge auf der Westseite von Rügen hin. Zwischen beiden befindet sich das sogenannte Norder-Fahrwasser, welches für Schiffe bis 10 Fufs Tiefgang die Verbindung zwischen Stralsund und der Ostsee darstellt. Doch auch diese mäfsige Tiefe kann nur durch anhaltende Aufräumung einer schmalen Rinne erhalten werden und vermindert sich oft auf 9 Fufs, zuweilen sogar wird sie noch geringer. Dieses Fahrwasser ist insofern wichtig, als es von den Dampfböten benutzt wird, welche die regelmäfsige Verbindung mit Schweden unterhalten. Segelschiffe wählen diesen Weg nicht

*) Tijdschrift van het koninklijk Instituut van Ingenieurs 1869—1870. pag. 287.

leicht, selbst wenn ihr Tiefgang dieses gestattet, weil die Baggerrinnen so schmal sind, dafs sie nur bei gewissen Winden durchsegelt werden können, auch ihre Richtungen sehr verschieden sind. Dagegen findet hier ein sehr lebhafter Verkehr von Fischerböten und andern kleinen Fahrzeugen statt, deren Tiefgang es gestattet, über die Rinnen hinaus zu gehn. Dabei mufs bemerkt werden, dafs gröfsere Schiffe bis 15 Fufs Tiefgang im Süden von Rügen durch den Greifswalder Bodden und das Landtief (nördlich von der Insel Ruden) von Stralsund nach der offnen See gelangen können. Endlich besteht noch eine dritte Verbindung mit der See, nämlich auf der Westseite von Hiddens-Oe, der Lootsen-Station Barhöft gegenüber. Diese ist zwar von allen die kürzeste, doch hat sie kaum 6 Fufs Tiefe und wird daher nur von sehr kleinen Fahrzeugen benutzt.

Ohne Zweifel würde im Norder-Fahrwasser die Tiefe leichter zu erhalten sein, wenn die letzte Verbindung nicht existirte, und nicht einen grofsen Theil des ein- und ausströmenden Wassers nach und von den dahinter liegenden Binnenseen aufnähme. Sobald aber vollends noch die vierte Verbindung durch den in Rede stehenden Durchbruch bleiben und sich erweitern sollte, so würden die nordwärts derselben im Fahrwasser belegenen Untiefen um so schneller verflachen. Dazu kommt noch, dafs die westliche Küste von Rügen bisher wegen der geringen Breite des Wassers keinem starken Angriff ausgesetzt war, ein solcher aber unfehlbar eintreten würde, sobald bei Weststürmen die Wellen aus der See durch eine weite Oeffnung eindringen könnten.

Hiernach mufste die Insel in ihrem Zusammenhange erhalten werden, wenn sie gleich an sich von wenig Werth ist. Ihr nördlicher Theil, aus einem etwa 60 Fufs hohen Thonberge bestehend, der sogenannte Dornbusch, ist cultivirt. Auch wo der Boden sich senkt, beim Dorfe Vitte, wird noch Getreide gebaut. Der ganze übrige, nahe 2 Meilen lange Theil der Insel besteht dagegen nur aus einer Sandfläche mit spärlichem Graswuchs, worauf einiges Vieh weidet. In dieser Strecke liegen unmittelbar neben einander zwei Fischerdörfer, Neuendorf und Plogshagen. An letzteres schliefst sich die schmalste Stelle der Insel an, die nach einer Karte von 1830 nur 24 Ruthen breit war. Auf der

Ostseite derselben befindet sich eine weit eintretende Bucht, die Petersbucht, in welcher bei allen Winden die Fischerböte sicher liegen können. Der schmale Landrücken war auch früher schon sehr niedrig und wurde nur auf der Seeseite durch eine schwache Düne geschützt.

Am 25. August 1864 entstand hier ein Durchbruch. Die Einwohner des Dorfs Plogshagen führten sogleich beim Senat der Stadt Stralsund Beschwerde, daſs sie nicht mehr bequem zu ihren Weideplätzen gelangen könnten. Diese Mittheilung blieb aber unbeachtet, da der Bruch so schmal und seicht war, daſs das Vieh hindurchgetrieben werden konnte, auch Menschen ohne Beschwerde hindurchgingen. Man hoffte auch, die Natur würde bald den frühern Zustand wieder herstellen. Obwohl von dem sehr frequenten Norder-Fahrwasser aus das Eintreten der Wellen aus der See deutlich bemerkt werden konnte, so verflossen dennoch anderthalb Monate, bevor in Folge einer zufälligen Mittheilung die Landes-Polizei-Behörde von dem Ereigniſs Kenntniſs erhielt.

Am 15. October wurde der Durchbruch besichtigt. Er war damals $4\frac{1}{2}$ Ruthen breit und an der tiefsten Stelle 2 Fuſs tief. Die Dünen waren aber in einer Länge von 70 Ruthen verschwunden, und in dieser ganzen Ausdehnung traten nur einzelne Stellen der Insel über den bekannten höchsten Wasserstand hinaus.

Mit Rücksicht auf das Norder-Fahrwasser muſste einer starken Verbreitung und Vertiefung des Durchbruchs vorgebeugt werden, und bei den mäſsigen Dimensionen, die er zur Zeit noch hatte, obwohl er von der starken Durchströmung in einer und der andern Richtung bereits sehr erweitert war, durfte man hoffen, vor Eintritt des Winters ihn noch zu schlieſsen. Hierzu wurden auch sogleich die nöthigen Einleitungen getroffen. An Ort und Stelle fehlte es indessen an Holz, wie auch an Faschinen und Steinen. Alles muſste zu Wasser aus weiter Entfernung beigeschafft werden, und eben so auch die Arbeiter, für deren Unterbringung sich kaum genügend sorgen lieſs. Es sollte zwischen zwei Pfahlreihen, ein Coupirungsdamm aus Faschinen mit Steinbedeckung 2 Fuſs über Mittelwasser in der Richtung der frühern Dünen ausgeführt, und auf der Binnenseite mit

einem Sturzbett versehn werden. Für diese mäfsige Höhe liefsen sich zu beiden Seiten die nöthigen Anschlüsse gewinnen.

Das zum Beginn des Baues nothwendige Material konnte aber erst am 12. December zur Stelle geschafft werden. Der Bruch hatte sich inzwischen sehr verbreitet und vertieft, und als nunmehr die Arbeit angefangen wurde, traten häufig Zerstörungen ein. Eine Anzahl bereits eingerammter Pfähle, wie auch Faschinen, wurden von der heftigen Strömung fortgerissen. Hierzu kam noch, dafs während des Winters die Zufuhr von Material meist unmöglich wurde. Dennoch gelang es am 6. März 1865 die Coupirung zum Schlufs zu bringen. Wegen Mangel an Material hatte man sich indessen mit der Kronenhöhe von 6 Zoll über Mittelwasser begnügt und das Sturzbett fehlte ganz. Die Länge des Coupirungsdammes maafs 26 Ruthen und während des Baues hatte die Tiefe stellenweise bis 19 Fufs zugenommen.

Bei der Besichtigung am 2. Mai war die Coupirung unbeschädigt und auf der Binnenseite hatte der Sand sich bis zur Krone dagegen gelegt, so dafs man auf demselben trocknen Fufses hinüber gehn konnte. Die beiderseitigen Anschlüsse waren indessen sehr zweifelhaft und es wurde daher sogleich die Errichtung von Strauchzäunen angeordnet, um durch Auffangen von Sand die Dünen zu verstärken. Um aber auf der Seeseite, wo die Tiefe $5\frac{1}{2}$ Fufs betrug, dieselbe zu mäfsigen, sollten hier drei Pfahlbuhnen erbaut, auch das Sturzbett, auf den am meisten bedrohten Stellen der Coupirung ausgeführt werden.

Obwohl diese Sicherungsmaafsregeln während des Sommers zur Ausführung kamen, so brach dennoch bei einem Weststurm am 11. September 1865 das Ufer hinter dem südlichen Ende des Dammes durch, und da nunmehr der heftige Strom auch den anschliefsenden Theil des Werks nebst zwei davor liegenden Pfahlbuhnen zerstörte, so bildete sich ein neuer Durchbruch von 28 Ruthen Breite, der bis 13 Fufs tief war, während der Damm auf 19 Ruthen Länge nebst der einen davor liegenden Buhne sich unversehrt erhalten hatte.

Hierauf wurde der Versuch gemacht diesen letzten Theil durch Verlängerung an das weit zurückgewichene südliche Ufer anzuschliefsen. Der Orkan vom 10. bis 12. November desselben Jahrs unterbrach indessen diese Arbeit und verursachte solche

Zerstörungen, dafs die weitere Fortsetzung in gleichem Sinn unmöglich war. Der alte Coupirungsdamm war mit Ausschlufs einiger vereinzelter Pfähle verschwunden und diese standen weit vor dem damaligen nördlichen Ufer. Das südliche Ufer war um 9 Ruthen zurückgewichen. Bei der Untersuchung am 20. März 1866 war der Bruch an der Seeseite 65, und weiter binnenwärts 40 Ruthen breit. Die etwas höhern Dünen waren auf der Nordseite 25 und auf der Südseite 35 Ruthen entfernt. Ihre gegenseitige Entfernung maafs also 125 Ruthen, sie waren aber so niedrig und schwach, dafs sie keineswegs sichere Anschlüsse bildeten. Dabei hatten sich stellenweise im Durchbruch Tiefen bis 20 Fufs ausgebildet. Veranlassung zu diesen Verheerungen gab ohne Zweifel die grofse Niveaudifferenz zwischen dem äufsern und innern Wasserstand, der seewärts vielleicht um 2 Fufs den letztern überragte. Dieses lassen wenigstens die in Stralsund beobachteten Wasserstände vermuthen, die damals in 12 Stunden um 5 Fufs sich geändert hatten.

Es entstand nunmehr die Frage, ob die bisherigen Versuche zur Schliefsung des Durchbruchs (als solche waren alle erwähnten Ausführungen bezeichnet worden) noch fortgesetzt, oder ob die weitere Ausbildung der Oeffnung nicht mehr verhindert und das Norder-Fahrwasser ganz aufgegeben werden sollte. Zur Unterstützung des letzten Vorschlags wurde von andrer Seite die Hoffnung ausgesprochen, dafs das Fahrwasser durch die Insel oder den Durchbruch kürzer und besser, als das bisherige sein würde. Dieselbe Frage war schon früher aufgeworfen, aber ein solcher Vorschlag ganz unpassend befunden, da auf der Binnenseite eine nur 4 Fufs tiefe Fläche auf 500, und auf der Aufsenseite eine solche auf 300 Ruthen Länge auszubaggern gewesen wäre, die seeseitige Rinne aber bei ihrer freien Lage bald durch Wellenschlag verflacht werden mufste, während auf starke Durchströmung nur in seltenen Fällen zu rechnen war. Jedenfalls wäre dabei die Erbauung zweier Hafendämme nothwendig gewesen.

Andrerseits wurde auf Darstellung einer wasserfreien Coupirung gedrungen, die so hoch sein sollte, dafs selbst die Wellen bei angeschwollner See nicht hinüberschlügen. Abgesehn von den grofsen Gefahren während der Erbauung eines solchen Werks,

das bei Weststürmen den heftigsten Angriffen ausgesetzt ist, mufste dasselbe die Länge von nahe einer halben Meile erhalten, weil sich in gröfsrer Nähe keine sichern Anschlufspunkte vorfanden.

Hiernach schien es am passendsten, zunächst nur die weitere Verbreitung des Durchbruchs durch Deckung der beiderseitigen Ufer zu verhindern und seine Tiefe mittelst hindurchgelegter Schwellen zu vermindern. 1866 wurde eine Schwelle ausgeführt, deren Krone 8 Fufs unter Mittelwasser lag. Sie bestand aus Senkfaschinen von 15 Fufs Länge und $2\frac{1}{2}$ Fufs Stärke, und zwar wurden diese in der Art versenkt, dafs sie in der Richtung der Strömung lagen. Zugleich wurden die beiderseitigen Anschlüsse an die Ufer durch Kiesdämme mit Béton-Ueberdeckung gesichert.

Im nächsten Frühjahr war die Krone dieses Werks an einer Stelle 4 Fufs tief aufgerissen, doch zeigten sich zu beiden Seiten bereits starke Sandablagerungen.

Im Jahr 1868 wurde in gleicher Weise weiter binnenwärts eine zweite Schwelle erbaut, deren Krone aber sogleich auf 4 Fufs unter Mittelwasser gelegt. Indem man fortwährend die vielfach entstehenden Abbrüche der Ufer ausdeckte und zugleich die äufsere Schwelle bis 5 Fufs unter Mittelwasser erhöhte, so sind später keine weitern Veränderungen eingetreten, als dafs die Tiefe vor der seeseitigen Schwelle sich bis auf 3 Fufs, und zwischen beiden Schwellen bis auf 7 Fufs verminderte. Das Eintreiben des Sandes von der See aus konnte nur in der Petersbucht bemerkt werden, der Sand blieb also noch weit von dem Fahrwasser entfernt. Eben so ergab sich bei näherer Untersuchung, dafs die durch den Durchbruch eintretenden Wellen nicht bis zur Insel Rügen wirken könnten. Sonach war der Durchbruch damals noch unschädlich, doch blieb seine vollständige Schliefsung vorbehalten. Diese schien indessen nicht früher möglich, als bis entweder feste und hohe Vordünen sich gebildet hätten, an welche der Damm sicher angeschlossen werden könnte, oder bis die Sandablagerungen sich so verbreitet und erhöht haben würden, dafs bei den stärksten Anschwellungen die Strömung durch sie wesentlich gemäfsigt würde.

In den nächsten Jahren beschränkte man sich auf die

Deckung der Ufer und auf die Unterhaltung der Coupirungen. Letztere wirkten ganz in der erwarteten Weise, indem sie das Gefälle vertheilten und dazwischen die Geschwindigkeit des durchströmenden Wassers so mäfsigten, dafs der von der Seeseite hineingetriebene Sand hier liegen blieb. Die Tiefen nahmen von Jahr zu Jahr in der ganzen Ausdehnung des Durchbruchs ab, und die Verhältnisse hatten sich vergleichungsweise gegen die frühern in so fern geändert, als nunmehr zwischen der See und dem Binnenwasser eine viel breitere Untiefe lag, als damals, wo nur ein schmaler Rücken beide Theile der Insel mit einander verband. Diese Untiefe blieb freilich überall noch einige Fufs unter Wasser, aber es war doch zu erwarten, dafs bei einer vorübergehenden starken Ueberströmung keine tiefen Rinnen sich darin bilden würden.

1877 wurden die Arbeiten wieder aufgenommen, und zunächst die zweite oder die innere Coupirung unter Beibehaltung derselben Constructionsart bis 1 Fufs über Mittelwasser erhöht. Der nächste Winter war frei von heftigen Stürmen und es traten sonach auch keine erheblichen Beschädigungen an den Werken ein, während in Folge der unterbrochnen Durchströmung die Sandablagerungen an der Seeseite sehr günstig sich ausbildeten. Im nächsten Frühjahr waren beide Theile der Insel durch den neu entstandenen Strand beinahe vollständig mit einander wieder verbunden und nur eine wenig Ruthen breite und 2 Fufs tiefe Rinne lag dazwischen, die aber bereits mit Wagen durchfahren werden konnte.

Nachdem diese günstige Aenderung erfolgt und neuen Zerstörungen wesentlich vorgebeugt war, schien es angemessen, den Durchbruch vollständig zu schliefsen. Dieses geschah 1878. Die Krone des wasserfreien Dammes tritt nur wenig über den bekannten höchsten Wasserstand, nämlich 7 Fufs 8 Zoll über Mittelwasser. Um den Damm dem Wellenschlag der See einigermafsen zu entziehn, ist er nicht in die kürzeste Linie zwischen den beiderseitigen wasserfreien Uferanschlüssen, sondern etwa 27 Ruthen hinter die zweite bereits erhöhte Coupirung zurückgelegt. Seine Länge mifst 384 Ruthen, er trifft aber grofsentheils auf benarbten Boden, oder doch solchen, der sich über Mittelwasser erhebt. Die Hauptrinne (im eigentlichen Durch-

bruch), die er durchschneidet, ist 53 Ruthen breit, und im Maximum 4 Fufs tief. Aufserdem trifft er noch auf 80 Ruthen Länge eine Wasserfläche grofsentheils 1 Fufs, und nirgends mehr als $1\frac{1}{2}$ Fufs tief.

Der Damm wird aus dem ziemlich feinen Seesande aufgeschüttet. In den Dossirungen, wie auch in der Krone ist er auf 1 Fufs Stärke mit Kies überdeckt, und auf diesem wird er mit einem Pflaster von gesprengtem Granit überdeckt, dessen Stofsfugen mit Cementmörtel gefüllt sind. Dieses Pflaster ist an den, dem Wellenschlage ausgesetzten Stellen 1 Fufs, sonst aber nur 8 bis 9 Zoll stark. Die Krone ist 13 Fufs breit, und die beiderseitigen Dossirungen sind zweifüfsig geböscht.

Bei Durchführung des Dammes durch die Hauptrinne wurden, vorzugsweise um während der Ausführung das Werk zu sichern, noch auf beiden Seiten 10 Fufs breite Bankete in der Höhe von 1 Fufs über Mittelwasser angelegt. An den äufsern Seiten lehnen sich dieselben an dicht schliefsende Pfahlwände. In der Grundlage bestehn sie aus Senkfaschinen, darüber bis zum Mittelwasser aus Packwerk und Beschwerungs-Material. In den Kronen sind sie wieder abgepflastert, und zwischen beiden Banketen ist der Sand angeschüttet, der den Kern des Dammes bildet.

Ein sehr grofser Uebelstand und ohne Zweifel eine grofse Gefahr für die ganze Anlage besteht darin, dafs die Bildung einer gehörigen Vordüne vorlängs der Seeküste des ganzen niedrigen Theils der Insel in dem Widerspruch der Grundbesitzer bisher unüberwindliche Schwierigkeiten gefunden hat. Schon mehrere Jahre früher, als der Durchbruch erfolgte, wurden in dieser Beziehung Verhandlungen eingeleitet, da der starke Sandflug, der sich über die ganze Insel verbreitet und die Vegetation aufs äufserste verkümmert, ein schnelles Anwachsen der Vordünen und dadurch die Verbesserung des Weidelandes erwarten liefs. Die Vorschläge wurden indefs unbedingt abgelehnt, und selbst gegenwärtig, wo der Augenschein deutlich zeigt, dafs hinter den Strauchzäunungen, die neben dem Durchbruch zur Erhöhung des Grundes ausgeführt sind, woselbst also der Boden nicht mehr durch Sand überweht wird, der Rasen viel kräftiger als sonst anwächst, wird dennoch die Abtretung eines hinreichend breiten Uferstreifens zur Bildung der Vordüne hartnäckig verweigert.

Einige Jahre später, nachdem der Durchbruch auf Hiddens-Oe entstanden war, besorgte man einen ähnlichen neben dem Dorf Dranske durch die schmale Landzunge, die sich von der Halbinsel Wittow auf Rügen in nahe südlicher Richtung bis zum Norder-Fahrwasser erstreckt, und die den Wiecker-Bodden von der Ostsee trennt. Bei hohem Seegange waren die Wellen in letztern übergeschlagen, ohne jedoch eine vertiefte Rinne zu bilden. Der Boden besteht hier nicht aus Sand, sondern aus sehr starken Kieseln. Der wasserfreie Abchlufs war sonach viel leichter, der sowol im Schiffahrts- wie im Landes-Cultur-Interesse für nöthig erachtet wurde. Da bedeutende Summen zur Beseitigung der Sturmschäden damals zu Gebote standen, so wurde sogleich ein hoher abgepflasterter Damm ausgeführt, dessen seeseitigen Fufs man überdiefs noch durch eine Reihe Pfahlbuhnen sicherte.

Was ferner den oben angedeuteten Versuch betrifft, einen niedrigen Sandrücken zwischen der See und einem Binnengewässer wasserfrei zu erhöhn, so wurde ein solcher vor etwa 10 Jahren gleichfalls im Stralsunder Regierungs-Bezirk gemacht. Verfolgt man nämlich das nördliche Ufer von Darser Ort in östlicher Richtung, so gelangt man in der Entfernung von etwa 2 Meilen an die Mündung einer Kette von Seen, die neben dem Strande der Ostsee sich bis ins Mecklenburgische fortsetzt. Die erwähnte Mündung ist der Versandung in hohem Maafse ausgesetzt, indem sie auf der Nordseite nicht durch festes Land, sondern durch eine Sandbank, der Bock genannt, begrenzt wird, über welche bei höhern Wasserständen die See mehrere Fufs hoch tritt und bei heftigem Wellenschlage grofse Sandmassen löst und in das Fahrwasser treibt. Diese Sandbank, die sich von der Insel Zingst bis zur Insel Hiddens-Oe erstreckt, ist beinahe eine Deutsche Meile lang und ungefähr halb so breit.

Es kam darauf an, eine höhere rückenförmige Ablagerung des Sandes hier zu veranlassen, die man später mit Strandgräsern bepflanzen und zu einer vollständigen Düne umbilden könnte. Jedenfalls stand es fest, dafs keine hohen und festen Werke hier ausgeführt werden durften, weil solche theils selbst der Zerstörung zu sehr ausgesetzt wären, theils aber auch neben sich Vertiefungen erzeugen würden. Hiernach wurden leichte Zäunungen von 2 Fufs Höhe versucht. Obwohl dieselben

möglichst durchsichtig gehalten werden sollten, so schlossen sich dennoch bei steigendem Wasser die in ihnen befindlichen Oeffnungen durch den hinzutreibenden Seetang, und nachdem dieses geschehn, wurden die Zäunungen vielfach von den Wellen unterspült und umgeworfen. Nichts desto weniger hatten sich doch stellenweise daneben Sandablagerungen gebildet, auf denen sich bald einige Vegetation einfand, die man früher hier nicht wahrgenommen hatte. Diese Vegetation aus See-Binsen (Scirpus maritimus) bestehend, beförderte augenscheinlich die weitere Ablagerung des Sandes mehr, als jene Zäunungen, der Erfolg blieb indessen sehr mäfsig. An der westlichen Seite, von wo der Sand längs des Strandes eintreibt, liegen einige Inseln, deren Besitzer gegen die Abschliefsung der dazwischen liegenden Oeffnungen nunmehr Einspruch erhob. Hierdurch wurde das Gelingen des Unternehmens vollständig vereitelt und der einige Jahre hindurch mit sehr mäfsigen Kosten fortgesetzte Versuch mufste aufgegeben werden.

§ 25.

Die Dünen.

Das offne Meer wird grofsentheils durch Sand- und Kies-Ablagerungen begrenzt. Eine Ausnahme hiervon bemerkt man nur, wenn steile Felsufer aus grofser Tiefe sich erheben, jene Ablagerungen also unter der Oberfläche des Wassers bleiben. Selbst vor den schroffen Felswänden auf der östlichen Seite von Marseille, und ebenso in der Nähe von Port Vendre sieht man an einzelnen geschützten und flachern Stellen den Kies zu Tage liegen, derselbe ist also auch hier eben so, wie auf dem gewöhnlichen Meeresstrande ein Spiel der Wellen und der Strömung, die ihn nicht nur längs dem Ufer forttreiben, sondern ihn auch über die Oberfläche des Wassers heben.

Ueber den Ursprung dieser Sand- und Kiesmassen kann kein Zweifel sein. Sie rühren von zerstörten Ufern, und zwar eben sowol des Meers, als der binnenländischen Ströme her. Die thonigen und sonstigen erdigen und organischen Theile, mit denen dieselben früher gemengt waren, sind durch die Wellen ausgespült und im Wasser schwebend fortgeführt, so dafs der

Sand und Kies vor den Mündungen der Ströme oder vor den abbrechenden Ufern sich meist allein ablagert. Doch bleibt dieser keineswegs dauernd an derselben Stelle. Heftige Strömungen setzen ihn unmittelbar in Bewegung, und selbst sehr schwache Strömungen, so wie auch die schräg auflaufenden Wellen bewirken dasselbe, indem jedes Körnchen im Wellenschlage immer auf- und abgetrieben wird, und dabei zugleich weiter rückt.

So lange die Neigung des Strandes unter Wasser so steil ist, dafs der Sand oder Kies sich darauf nicht halten kann, so fällt er herab. Auf flachern Dossirungen bleibt er dagegen liegen, und wenn die Rückströmung der Wellen ihn auch von hier herabtreibt, so wird er doch von der nächsten Welle wieder gehoben, so dafs er in mäfsiger Tiefe unter Wasser liegen bleibt. Der oberhalb dieser Grenze gelagerte Sand bewegt sich nicht nur längs dem Ufer fort, sondern bei heftiger Strömung oder bei starkem Wellenschlage wird er auch bis zu dem mittlern Wasserspiegel und über diesen hinaus gehoben. Die dabei eintretenden Erscheinungen, so wie auch die Bildung des flach geneigten Strandes sind § 6 ausführlich erörtert, und es ergiebt sich aus den daselbst mitgetheilten Thatsachen, dafs unter gewissen Umständen sehr grofse Sand- und Kiesmassen stellenweise an die Ufer getrieben werden.

Es kommt darauf an, das weitere Verhalten dieser Massen zu verfolgen. Bei eintretender Ebbe, oder wo kein Fluthwechsel stattfindet, nach dem Aufhören des Sturms, senkt sich der Wasserspiegel, der Sand trocknet, und indem die einzelnen Körnchen nicht an einander haften, so werden sie, besonders wenn sie nur geringe Dimensionen haben, schon von mäfsigen Winden fortgetrieben. Nach der jedesmaligen Richtung des Windes fliegen sie entweder längs des Strandes, oder indem der Seewind besonders heftig ist, weil er durch keinen Gegenstand geschwächt wird, so treiben sie vorzugsweise nach dem Binnenlande. Diese Bewegung des Sandes erfolgt in der Art, dafs die Körnchen, welche die Oberfläche bilden, zunächst rollen, und indem der Druck des Windes sie dauernd trifft, so beschleunigt sich ihre Bewegung, sie fangen bald an zu hüpfen, und die Sprünge werden immer ausgedehnter, indem sie bei der jedesmaligen Berührung des Bodens, wie ricochetirende Kugeln, sich mit nahe gleicher

Kraft von Neuem erheben und in derselben Richtung weiter fliegen. Der feinere Sand, dessen Körnchen verhältnifsmäfsig einen stärkern Stofs vom Winde erleiden, als der gröbere, überspringt sehr weite Längen. So sah ich, dafs derselbe bei starken westlichen Winden die ganze Breite des Hafens Rügenwaldermünde übersprang. Diese Wahrnehmung war aber sehr sicher, denn die fliegende Sandmasse hat das Ansehn eines dichten Nebels, und derselbe setzte sich ohne Unterbrechung über den Hafen fort, die Körnchen mufsten also wenigstens 6 Ruthen weit springen, aber wahrscheinlich fielen sie erst in weitern Entfernungen nieder, weil in der ganzen Breite des Hafens keine Schwächung dieses Nebels zu bemerken war.

Noch auffallender ist die grofse Höhe, zu der die Körnchen vor hohen Ufern sich erheben. Vor solchen fängt sich der Wind und nimmt die Richtung der Dossirung des Ufers an, wenn diese auch sehr steil ist. Es sind aber keineswegs nur kleine Körnchen, die hinaufgeworfen werden, sondern auch gröberer Seesand folgt dieser Bewegung. Wenn man während eines heftigen Windes an dem obern Rande eines solchen Ufers steht, so fühlt man die Körnchen, welche das Gesicht treffen; die gröfsern Körner verursachen sogar empfindliche Schmerzen. Diese herauffliegenden Massen bilden selbst auf hohen Ufern, wie etwa auf dem Streckelberge, ohnfern Swinemünde, grofse Anhäufungen von Sand. Am auffallendsten geschieht dieses vor Waldungen, welche den Wind schwächen und daher das Weiterfliegen des Sandes verhindern. An solchen Stellen, wo das Meer gröbern Kies aufwirft, ersteigen die Körner nicht das höhere Ufer, und man sieht auf diesem nur den feinern Sand, der mit jenen zugleich von der See ausgeworfen war. In diesem Fall sind die Verwüstungen der Aecker und Wiesen auch weniger erheblich.

Flache Ufer werden vorzugsweise von dem Sande überdeckt, und indem die Kraft des Seewindes mit der Entfernung vom Strande sich vermindert, auch die Vegetation die Bewegung der Luft unmittelbar über dem Boden mäfsigt, so dafs ein Theil der niederfallenden Körnchen nicht weiter fliegt, so bleiben grofse Sandmassen in der Nähe des Ufers liegen. Dieselben bilden hier hohe Rücken oder zusammenhängende Hügelreihen, die meist die Höhe von etwa 30 und unter Umständen sogar von 100 Fufs

und darüber erreichen. Dieses sind die Dünen. Obwohl sie ohne eine Spur von vegetabilischer Erde nur aus dem rein ausgewaschnen Seesande bestehn, so sind sie doch keineswegs frei von Vegetation. Verschiedne Gräser und andre Gewächse, namentlich aber einige Weidenarten finden sich darauf ein und wachsen sehr kräftig, indem sie viele Seitenzweige treiben, so lange frischer Sand sich immer von Neuem darüber lagert. Diese Zweige geben aber selbst die Veranlassung zu den Sandablagerungen, denn durch sie wird die Kraft des Windes neben ihnen gemäſsigt und sonach häuft sich der heranfliegende Sand hier an, und wird auch, so lange das Strauch ihn schützt, nicht wieder fortgetrieben.

Auf der Frischen Nehrung bei Pillau habe ich oft wahrgenommen, daſs die groſsblättrige Sandweide, wenn sie während des Winters soweit mit Sand überschüttet war, daſs ihre höchsten Zweige kaum noch einen Fuſs darüber hervorragten, im nächsten Frühjahr zahllose Seitenzweige trieb, wodurch ihre Krone sich weit ausbreitete. Jeder einzelne Trieb schoſs aber während des Sommers 6 bis 8 Fuſs auf. Wenn nun im nächsten Herbst und Winter wieder neuer Sand sich darüber lagerte, so wuchs dieser Hügel in wenig Jahren zu einer groſsen Höhe an. Viel schneller, als er entstanden war, verschwand er aber auch wieder, zuweilen sogar während eines einzigen Sturms. Durch die Senkungen in der Dünenkette streicht nämlich der Wind mit besondrer Heftigkeit hindurch, er bildet hier Vertiefungen, die oft bis zum Grundwasser, also nahe bis zum Meeresspiegel herabreichen. Dabei werden auch die anstoſsenden Dossirungen der Hügel angegriffen, sie gestalten sich, da der Sand einige Feuchtigkeit enthält, anfangs sehr steil, und groſse Sandmassen stürzen von oben nach. Auffallend ist, daſs bei sehr heftigem Winde diese Sandmassen gar nicht, oder nur zum kleinsten Theil auf den Boden herabfallen, denn während sie sich lösen, werden sie schon vom Winde erfaſst und fortgetrieben. In dieser Art verschwindet in wenig Stunden der ganze Hügel, und von ihm bleibt nichts übrig, als der zähe Weidenstamm, der seine Entstehung veranlaſste und der noch im Untergrunde fest wurzelt, aber nunmehr ganz entblöſst auf dem Boden liegt. An demselben läſst sich deutlich erkennen, wie hoch er und mit ihm der ganze Hügel in jedem Jahr angewachsen war.

Es ergiebt sich hieraus, wie veränderlich das Dünen-Terrain ist, und wie sehr die Culturen, die man hier ausführt, der Zerstörung ausgesetzt sind. Die Gefahr ist immer um so gröfser, je mehr man sich dem Strande nähert, denn wenn auch von den weiter zurückliegenden Dünen zuweilen grofse Sandmassen auf das dahinter belegene Terrain treiben, so bildet sich der stärkste Sandflug doch immer am Strande und dazu kommt noch, dafs hier der scharfe Seewind der Vegetation gleichfalls nachtheilig ist. Die niedrigen Stellen pflegen zwar mit Gräsern und selbst mit Strauch sich zu überziehn, aber dennoch bleibt die Düne in der Nähe der See etwa 100 Ruthen weit meist sehr kahl.

Zur Characterisirung dieses Terrains mufs noch des Triebsandes erwähnt werden, der sich hier häufig bildet. Beim Schmelzen des Schnees oder bei starkem Regen dringen grofse Wassermassen in den Sand ein, weil ein offner Abflufs über die Oberfläche wegen der porösen Beschaffenheit des Bodens nicht statt finden kann. Dieses eingesogene Wasser übt gegen die tiefer liegenden Stellen einen starken Druck aus, und würde sie anfüllen, wenn nicht wieder die leichte Beweglichkeit des Sandes dieses verhinderte. Wenn das Wasser eine freie Sandschüttung in der Richtung von unten nach oben durchdringt, so nimmt diese Schüttung eine losere Beschaffenheit an und ihr Volum vergröfsert sich, wie im ersten Theil dieses Handbuchs § 7 nachgewiesen ist. Sie erhebt sich also, indem jedes einzelne Körnchen seine Lage so verändert, dafs es nur so eben noch unterstützt wird, und möglichst grofse Zwischenräume offen läfst. Wenn später die Oberfläche trocken wird, und das Grundwasser unter sie herabsinkt, so giebt es doch keine Veranlassung, dieses Gleichgewicht zu stören, und der Sand bleibt Triebsand, bis zufälliger Weise, wie etwa beim Uebergehn von Menschen oder Thieren, oder auch durch die Vegetation, die sich hier entwickelt, die Körnchen ihre geschlossene Lage wieder annehmen. Sobald man aber, ehe dieses geschehn ist, unvorsichtiger Weise solche Fläche betritt, so versinkt man in dieselbe und Pferde, wie auch Hornvieh finden häufig darin ihren Tod.

Auch unmittelbar auf, oder vielmehr vor dem Strande bildet sich häufig der Triebsand. Bei starken Stürmen, welche die

Küste treffen, pflegt der Wasserstand einige Fufs hoch zu steigen, und wenn er später wieder sinkt, so tritt das erste vordere Riff, oder der schmale Sandrücken, der sich während des Sturms erhöht hatte (§ 6), über das Wasser heraus. Die seewärts gekehrte Böschung desselben besteht, so lange sie noch nafs ist, aus einer sehr festen Ablagerung, über welche man sicher gehn und fahren kann, selbst die Räder lassen darauf oft gar keinen Eindruck erkennen. Dieses erklärt sich dadurch, dafs unter dem Stofs und Druck der Wellen die Sandkörnchen eine geschlofsne Lage annahmen. Ganz anders verhält es sich dagegen mit der innern Böschung. Sobald man diese betritt, so bemerkt man, dafs der Boden nachgiebt, und Pferde und Wagen versinken darin so tief, dafs sie vielfach darin verunglückt sind. Diese Böschung ist der unmittelbaren Einwirkung der Wellen entzogen, sie bildete sich aber, indem die einzelnen Körnchen über den Scheitel des Rückens fortgetrieben wurden, und unter Wasser, also nur mit sehr geringem Druck niedersanken, woher sie sich nicht fest ablagerten.

Die erwähnten Riffe ziehn sich häufig in grofser Länge vor dem Strande hin, sie sind aber stellenweise durch flache Sandrücken mit demselben verbunden, und alsdann bildet sich jedesmal eine Oeffnung im Rücken, durch welche das übergetretene Wasser abfliefst. Das Durchfahren dieser Oeffnungen ist wieder nicht gefahrlos, denn auch hier pflegt der Sand sehr lose zu liegen.

Ueber die Methoden, das Dünenterrain auszuebnen, wird im Folgenden ausführlicher die Rede sein, doch mufs schon hier auf eine Erscheinung hingewiesen werden, die sich zuweilen in der überraschendsten Weise darstellt. Eine hohe dichte Wand fängt den Sand unmittelbar vor sich nicht auf, es bildet sich vielmehr eine tiefe Rinne vor ihr aus, weil der Druck der in ihrer Bewegung plötzlich gehemmten Luft Seitenströmungen veranlafst, die den Sand forttreiben. Diese Hemmung der Bewegung, oder Schwächung des Windes bewirkt freilich in einiger Entfernung davor das Niederfallen des Sandes. Es bildet sich also hier ein Sandrücken, der aber durch eine tiefe Rinne von der Wand geschieden wird. Bei zunehmender Erhöhung des Rückens wächst derselbe oft zu solcher Höhe an, dafs er die Wand vor dem Winde schützt, und alsdann hört auch die erwähnte Seitenströmung

auf und die ganze Wand wird schliefslich von dem antreibenden Sande verdeckt. Die Erscheinung ist derjenigen ähnlich, die man auch beim Schneetreiben neben dichten Einfriedigungen zu bemerken pflegt.

Ein auffallendes Beispiel dieser Sandablagerungen sah man noch vor etwa 40 Jahren neben der Kirche von Alt-Pillau. Das Dorf, in dessen Mitte dieselbe früher gestanden hatte, war wegen des starken Sandflugs, der von der See her die Felder und Gärten überdeckte, weiter ostwärts verlegt, und die Kirche allein blieb zwischen den kahlen Dünen zurück. Rings um sie war ein 12 bis 20 Fufs hoher wallartiger Sandrücken angeweht, aber an keiner Stelle erreichte derselbe die Wand der Kirche. Diese blieb vielmehr bis zu ihren Fundamenten immer frei, so dafs die Kirchgänger zwar den hohen und an der innern Seite sehr steilen Rücken übersteigen mufsten, aber die Thüren niemals verschüttet fanden. Die hohe Lage der Kirche, und zwar in einer kahlen Sandfläche, die sie von allen Seiten umgab, erklärt es, dafs der Wind, aus welcher Himmelsgegend er auch kam, immer die gleiche Wirkung ausübte, und sonach der Sandrücken rings umher sich bildete. Später ist der Boden daselbst cultivirt und jener Rücken abgegraben.

Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich bereits, dafs die Dünen unter den verschiedenen Einwirkungen des Windes, und unter den Einflüssen der zufälligen Vegetation sich ganz unregelmäfsig gestalten und fortwährenden Veränderungen unterworfen bleiben. Bald sind es einzelne Kuppen von verschiedener Höhe, bald längere Rücken oder auch wohl Hochebenen, die jedoch erst in weiterer Entfernung von der See vorzukommen pflegen, während thalartige Einschnitte von gröfserer oder minderer Tiefe und Breite sich in die höhern Ablagerungen hinein ziehn, oder sie ganz durchschneiden. Die auf Taf. VIII angegebene Dünenbildung neben dem Dorfe Catwijk mag genügen, um die Unregelmäfsigkeit dieser Formationen an einem Beispiel zu zeigen. Die Erscheinung beruht darauf, dafs fortwährend neue Sandmassen von der Seeseite hinzukommen, und sich im Allgemeinen wegen der gröfseren Stärke der Seewinde landwärts bewegen. Die See wirft entweder von den davor liegenden Bänken und Riffen den Sand aus, oder sie führt ihn von entferntern Ufern

herbei, oder aber sie greift die ältern Ablagerungen an, und dieses geschieht jedesmal, so oft die Wellen eine Böschung berühren, die nicht hinreichend flach ist. Im letzten Fall treibt gewöhnlich ein grofser Theil des gelösten Sandes sogleich landeinwärts. Der Sandflug setzt sich daher, so lange die Dünen nicht vollständig gedeckt, und sonach zur Aufnahme von neuen Sandmassen vorbereitet sind, über sie fort in das Binnenland. Wenn sich hier auch keine neuen Dünen bilden, so verlieren Aecker und Wiesen ihre Ertragsfähigkeit. Vielfach sieht man, dafs in Entfernungen von einer Viertel Meile und oft noch weiter, ein an sich ertragsfähiger Boden so stark mit Seesand vermengt ist, dafs die Ernten sehr spärlich ausfallen, und daher nur in längern Perioden die Felder bestellt werden können.

Wenn der Sandflug eine Waldung trifft, so wird er durch diese unterbrochen, weil hier der Wind aufhört, und sonach keine Kraft vorhanden ist, die den Sand weiter treiben könnte. Derselbe lagert sich daher am Rande des Waldes ab und bildet hier im Lauf der Zeit einen hohen Dünenrücken. Eine Waldung oder ein Busch pflegt indessen seewärts immer sehr regelmäfsig und oft in langer gerader, oder wenigstens in flach gekrümmter Linie begrenzt zu sein. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dafs einzelne Gruppen, die vielleicht bei der ursprünglichen Besaamung darüber heraustreten, durch die andern Bäume nicht geschützt werden, vielmehr einem so heftigen Angriff der Winde ausgesetzt sind, dafs sie in der Vegetation zurückbleiben und schliefslich absterben. Die vor einer Waldung oder einem Gebüsch abgelagerte Düne gestaltet sich daher etwas regelmäfsiger, als sonst zu geschehn pflegt.

An solchen Küsten, wo das Meer grofse Sandmassen absetzt, also der Strand sich von selbst stark verbreitet, und immer neue Dünenreihen vor den ältern sich bilden, kann es geschehn, dafs durch Besaamung der Wald sich auch seewärts auf jenen regelmäfsigen Sandrücken fortsetzt, und sich sogar über sie hinaus ausdehnt, und dass beim spätern Ablagern frischen Sandes ein neuer Rücken in einiger Entfernung vor dem ältern sich ablagert, der, nachdem er eine gewisse Höhe erreicht hat, wieder mit Bäumen und Sträuchern sich überzieht. In dieser Weise erklären sich die oft vielfach hinter einander liegenden Sandrücken,

die man zuweilen in gröfserer oder geringerer Entfernung vom Strande bemerkt.

Sehr auffallend zeigt sich dieses am Darss, im Regierungsbezirk Stralsund, wo das von Südwest nach Nordost gestreckte Ufer in die Richtung von Westen nach Osten übergeht. Auf dem Wege vom Saaler Bodden nach Darsser-Ort trifft man auf eine Meile Länge ungefähr zwanzig solcher Sandrücken, die zwar mit festem Rasen und Kiefernwald bedeckt sind, aber sämmtlich in übereinstimmender Richtung sich hinziehn. Sie sind anfangs von Westen nach Osten gekehrt, doch nach und nach ändern sie ihre Lage, indem das westliche Ende immer mehr nach Norden vorrückt, und zuletzt nehmen sie dieselbe Richtung an, welche der Strand auf der Ostseite zunächst Darsser-Ort gegenwärtig hat, indem sie von Nordwest nach Südost laufen. Zwischen diesen Rücken sieht man vielfach kleine Wasserflächen, deren Längenachsen wieder zu den Rücken parallel liegen. Sie zeigen unverkennbar, wie das Ufer hier im Lauf der Zeit weiter vorgetreten ist, und wie der Haken sich gebildet hat.

In der Nähe von Swinemünde wiederholt sich mehrfach dieselbe Erscheinung, und zwar zum Theil noch auffallender und in gröfsern Dimensionen. Auf der westlichen Seite des Hafens sieht man ohnfern der See eine Anzahl Rücken hinter einander liegen, die wieder das allmählige Fortschreiten des Ufers bezeichnen, das auch gegenwärtig hier noch stattfindet. Vorzugsweise ausgebildet ist diese Formation im Süden von Swinemünde in der Caseburger Forst. Hier streichen die Dünen von Süden nach Norden, also wieder parallel zum höhern und ältern Lande, dessen östlicher Rand sich von Caminke nach Heringsdorf hinzieht. Die Rücken erheben sich hier 30 bis 40 Fufs über die anschliefsenden Thäler. Auch auf der östlichen Seite der Swine wiederholt sich vor Pritter dieselbe Erscheinung. Aufserdem bemerkt man sie, wenn auch weniger ausgebildet, vielfach an andern Stellen in der Nähe der Ostsee. Die angeführten Beispiele sind so auffallend, dafs man sie in dem Preufsischen See-Atlas deutlich dargestellt findet.

Indem der Sand, so lange seine Oberfläche nicht künstlich oder durch natürliche Vegetation befestigt ist, vorzugsweise durch die Seewinde in Bewegung gesetzt, also nach dem Binnenlande

getrieben wird, so erfolgt hierdurch ein allmähliges Fortschreiten der Dünen, wie solches sich vor Petten so auffallend gezeigt hat (§ 24). In vielen Fällen und sogar gewöhnlich nehmen dieselben aber nicht an Breite zu, indem sie an der Seeseite immer neuen Abbrüchen ausgesetzt sind. Diese Bewegung zeigt sich aber nicht nur an der ganzen, mit Sand überdeckten Fläche, sondern auch einzelne besonders ausgedehnte Hügel und vorzugsweise die langgestreckten Rücken, die parallel zum Strande liegen, bewegen sich langsam nach dem Binnenlande. Wo eine Düne dieser Art sich ausgebildet hat, nimmt sie eine regelmäſsige Gestalt, wenigstens ein geregeltes Querprofil an. Sie ist alsdann vollkommen kahl und nirgend mit Gras oder Strauch bewachsen. Letztere würden ihre Oberfläche festlegen und ihre Beweglichkeit aufheben, dieses geschieht aber nicht, denn wenn zufällig auf ihr eine Pflanze keimt und sich ausbildet, so wird sie von dem Winde, der über die ebene und sanft ansteigende Fläche mit voller Kraft hinstreicht, wieder ausgeweht, da der Boden unter ihr fortfliegt. Solche Düne gewährt namentlich bei heftigem Sturm einen groſsartigen Anblick. Der Sand, der die Oberfläche ihrer seeseitigen Dossirung bildet, fliegt zur Krone herauf, und stürzt hinter derselben herab, indem aber immer neue Massen auf der einen Seite sich lösen, und auf der andern sich ablagern, so bewegt sich die ganze Düne, ohne ihre Form wesentlich zu verändern, nach dem Binnenlande und begräbt Alles, was sie auf ihrem Wege findet. Dieses ist die wandernde Düne.

Die Figuren 81 *a* und *b* zeigen ein zusammenhängendes Querprofil, das ich im Jahre 1832 quer über die Frische Nehrung, etwa 3 Meilen von der Spitze derselben entfernt, wenig nördlich von dem Dünenwärter-Etablissement Groſs-Bruch gemessen habe. Dasselbe schneidet zwei solche wandernde Dünen, die hinter einander sich von der See nach dem Haff bewegten. Die der See zunächst gelegene Düne, deren Fuſs 80 Ruthen vom Strande entfernt war, hatte an der westlichen oder der Seeseite eine Neigung von durchschnittlich 5° 52′ gegen den Horizont oder eine beinahe zehnfache Anlage. Auf der Landseite dagegen war die Dossirung viel steiler, so daſs sie zuletzt nur etwas mehr, als zweifache Anlage hatte. Diese Düne, die sich 45¼ Fuſs

über den Spiegel der See erhob, bewegte sich gegen ein jüngeres Gebüsch, das sie beim Fortschreiten überdeckte. Bald dahinter erhob sich die zweite Düne, deren seeseitige Böschung noch flacher, nämlich 4^0 40′ gegen den Horizont geneigt oder von $12\frac{1}{4}$facher Anlage war. Diese Düne erreichte die Höhe von 36 Fufs über dem Spiegel der See, und die vordere Böschung, die im untern Theil 26^0 45′ gegen den Horizont geneigt war, trat in eine ausgedehnte und üppig vegetirende Waldung, von der sie die Bäume bis nahe an ihre Gipfel begrub.

In welcher Weise die Bewegung dieser Dünen erfolgte, lehrte der Augenschein sehr deutlich. Die ganze weit ausgedehnte seeseitige Dossirung war sehr eben und von jeder Vegetation entblöfst. Aufserdem bestand sie nur aus rein ausgewaschnem Seesand, dessen Körnchen jeder Verbindung unter sich entbehrten, und nur lose über einander lagen. Ein mäfsiger Wind setzte sie schon in Bewegung, und indem derselbe bald von der einen, bald von der andern Seite sie traf, so bewirkte er die Ausgleichung, die wegen der fehlenden Vegetation durch nichts verhindert wurde. Sobald ein starker Seewind eintrat, kam die ganze Oberfläche der seeseitigen Dossirung in Bewegung. Die Sandkörnchen rollten und sprangen die flache Dossirung hinauf, und wenn sie diese und die Krone überschritten hatten, stürzten sie auf die landseitige Dossirung herab. Dem Einfluss des Windes waren sie hier entzogen, und indem sie nur einzeln niederfielen, bildeten sie die steilste Dossirung, in welcher der reine Sand überhaupt sich erhalten kann. Da indessen gemeinhin die stärkern Westwinde auch mit Regen verbunden sind, oder grofse Wassermassen von den aufschlagenden Wellen sich lösen und als feiner Nebel weiter getrieben werden, so sind die Sandkörnchen während ihrer Bewegung nicht ganz trocken und haften daher einigermaafsen an einander, so dafs sie eine etwas steilere Dossirung annehmen, als sie bei späterm vollständigen Abtrocknen behalten können. Hierdurch geschah es, dafs man bei heiterer und warmer Witterung fortwährend den Sand in kleinen Massen bald hier und bald dort herabrieseln sah. Auch das dadurch verursachte Geräusch war neben der Düne deutlich zu vernehmen.

Aus den während der Jahre von 1829 bis 1832 angestellten Beobachtungen ergab sich, dafs die zweite Düne in jedem Jahr

um 18 Fufs gegen das Haff vordrang. Die Bewegung der ersten, seewärts belegenen, habe ich nicht gemessen, doch liefs sich aus der Verschüttung der Bäume deutlich erkennen, dafs auch sie in gleicher Richtung fortschritt. Indem der Sand während des Sturms in einzelnen Körnchen herabfällt, oder bei trockner Witterung später herabrieselt und alsdann eine etwas flachere Böschung annimmt, so zerbricht er keineswegs die Bäume, welche er trifft, ja er zerknickt selbst keinen Zweig derselben und beschädigt kein Blättchen, wie man beim Aufgraben der Dossirung in ihrem obern Theile deutlich wahrnehmen kann, doch sterben die Bäume, wenn sie hoch überschüttet sind, mit der Zeit ab. Auf der Krone der zweiten Düne sah man Gebüsche von verschiedener Höhe, die am vordern Rande meist noch belaubt und frisch waren und zum Theil sogar ein recht kräftiges Ansehn hatten. Dieses verschwand aber in der Richtung nach der See immer mehr. Bald sah man nur abgestorbene niedrige Stämme und endlich waren auch diese verrottet und vom Winde abgebrochen, so dafs der hintere Theil der Krone eben so kahl, wie die anschliefsende Dossirung war. Diese Gebüsche auf der Krone der Düne waren nichts andres, als die Wipfel der versandeten Bäume, und es war zugleich sehr augenfällig, wie dieselben noch längere, oder kürzere Zeit hindurch vegetirten. Die Kiefer wurde jedesmal zuerst angegriffen und starb am schnellsten ab. Die Birke, die Pappel und selbst die Eiche erhielten sich länger, am längsten dauerte aber die gewöhnliche Eller (betula alnus glutinosa), die mehrere Jahre hindurch noch kräftig fortwuchs und frische Zweige trieb, bis auch sie endlich abstarb.

Weiter südwärts waren solche Dünen in noch schnellerer Bewegung. Durch Vergleichung der Aufnahme vom Winter 1833 auf 1834 mit derjenigen vom October 1838 ergiebt sich, dafs der Wald zwischen Vögler und Neukrug, etwa 4 Meilen von der Nehrungspitze entfernt, in dieser Zwischenzeit durchschnittlich auf 12 Ruthen Breite, stellenweise sogar auf 20 Ruthen, also jährlich 4 Ruthen breit verschüttet ist.

Die Waldungen, die in dieser Art vom Sande begraben werden, kommen nach einer längern Reihe von Jahren wieder zu Tage. In gleichem Maafse, wie die vordere steile Böschung vorrückt, bewegt sich auch die hintere flache in gleicher Richtung.

Die Oberfläche der letzteren wird in dünnen Schichten abgehoben, während der innere Kern unbewegt an seiner Stelle bleibt, bis er selbst die hintere Oberfläche bildet und alsdann gleichfalls nach und nach abgeschält wird. Die in ihm steckenden Baumstämme treten alsdann wieder vor, aber sie sind so verrottet, dafs ihnen alle Festigkeit fehlt. Das Holz in vollem Wachsthum wurde plötzlich mit Sand überdeckt, es trat also eine Stockung der Säfte ein, welche die Fasern zerstörte. Die Rinde leidet dabei am wenigsten und bildet sonach eine cylindrische Umhüllung, welche das Eintreten des Sandes verhindert. Im Innern derselben bemerkt man ein zellenförmiges Gefüge, dessen Zwischenwände vergleichungsweise gegen die grofsen, sternförmig gruppirten offenen Zellen überaus dünn und zugleich von so wenig Consistenz sind, dafs sie unter dem leisesten Druck brechen.

Nach heftigen Stürmen, also zur Zeit, wenn die seeseitige Dossirung so eben aufs Neue abgeschält ist, sieht man hin und wieder die Stämme 1 bis höchstens 2 Fufs darüber hervorragen. Wenn sie auf gröfsere Längen entblöfst werden, so brechen sie unter dem Druck des Windes ab, und werden wie der Sand auf und über die Krone fort getrieben, wobei sie jedoch grofsentheils zerbröckeln und nur an den übrig gebliebenen Scherben der Rinde zu erkennen sind. Durch vorsichtiges Aufgraben kann man leicht den Zustand des Holzes erkennen, denn die vortretenden Köpfe der Stämme sind jedesmal so vollständig mit Sand angefüllt, dafs die Zellen gar nicht sichtbar werden. Diese Stämme geben wieder Veranlassung zu einer eigenthümlichen Gefahr, die bei der mäfsigen Stärke der verschütteten Bäume für den Fufsgänger zwar nicht von Bedeutung ist, aber beim Reiten geschieht es leicht, dafs das Pferd auf einen solchen mit Sand überwehten Stamm tritt, und indem sein Fufs hier keinen Halt findet, so ist der Bruch desselben kaum zu vermeiden.

Beim weitern Vorrücken der Düne bei Kahlberg kam im Anfange dieses Jahrhunderts ein alter Kirchhof mit den darauf befindlichen Gräbern und den Resten einiger Monumente wieder zum Vorschein, von dem jede Kunde längst verschwunden war.

Ich habe diese auffallende und gewifs grofsartige Erscheinung der wandernden Dünen so ausführlich beschrieben, weil hoffentlich bald kein Beispiel derselben an unserm Ostsee-Strande noch auf-

zufinden sein wird. Die Dünen, deren Profil ich mittheilte, haben ihre Formen zwar ohne Zweifel im Allgemeinen beibehalten, sie sind aber vollständig mit Busch und Kiefernschonung überzogen, ihre Bewegung hat also schon seit einigen Jahrzehenden aufgehört.

Fig. 82 zeigt das Profil einer andern Düne auf dem südwestlichen Theil der Frischen Nehrung. Diese ist bedeutend höher, als jene. Sie beginnt in ihrer ziemlich regelmäfsigen Ausbildung etwa $1\frac{1}{2}$ Meilen östlich von der neuen Ausmündung der Weichsel bei Neufähr und zieht sich auf $2\frac{1}{2}$ Meilen Länge vor dem Danziger Stadtwalde bis gegen Vogelsang hin, woselbst sie vielfach unterbrochen sich in unregelmäfsigen Dünenhügeln verliert. Es ist dieselbe Düne, von der auch Krause*) spricht, und von der er zwei Profile mittheilt. Als ich dieselbe vor etwa vierzig Jahren sah, war ihre flache seeseitige Böschung grofsentheils bereits mit Strandgräsern und Weidenstrauch bepflanzt, beide schienen indessen so wenig zu gedeihen, dafs sehr bedeutende Ausbesserungen und Nachpflanzungen in jedem Jahr nöthig waren, und nirgend zeigte sich damals eine Spur von Vegetation, die von selbst oder durch Ausbreitung der künstlichen Anpflanzung entstanden wäre. Gegenwärtig hat sich dieses sehr vortheilhaft geändert, und wenn ohne Zweifel auch jetzt noch zufällig manche Blöfsen sich bilden, die man aufs Neue decken mufs, so hat sich doch bis zur Krone hinauf, die nach dem mitgetheilten Profil, 119 Fufs über dem Spiegel der See liegt, eine zwar dürftige aber doch hinreichend kräftige Vegetation gebildet, um bei Stürmen den Sand vor dem Forttreiben zu sichern, und zugleich diejenigen Sandmassen aufzufangen, welche vielleicht von der See aus noch aufgeweht werden. Auch selbst die landseitige sehr steile Dossirung, die früher ganz kahl war, ist gegenwärtig, wenn auch nur spärlich doch mit Strandgräsern und Weidengesträuch bewachsen. Krause erwähnt, dafs diese Düne im Zeitraume von 23 Jahren, jährlich um mehr als 1 Ruthe in den Wald vorgerückt sei.

Das hier mitgetheilte Profil habe ich im Jahre 1862 an der Stelle, wo die Düne die gröfste Höhe hatte und zugleich am

*) Der Dünenbau von G. C. A. Krause. Berlin 1850. pag. 12.

regelmäfsigsten gestaltet war, aufgenommen, nämlich bei dem Dorf Junkeracker, $3\frac{1}{2}$ Meilen in östlicher Richtung von Danzig entfernt. Diese Aufnahme beruht aber nicht auf einem vollständigen Nivellement, vielmehr wurde sie nur mit der Schmalkaldenschen Boussole und mit dem Mayerschen Patent-Gefällemesser*) gemacht, während die Längen durch Abschreiten bestimmt wurden. Die seeseitige Böschung der Düne war durchschnittlich $5\frac{1}{2}$ Grade, und die steile landseitige $31\frac{1}{2}$ Grade gegen den Horizont geneigt, jene hatte also $10\frac{1}{3}$ und diese $1\frac{2}{3}$ fache Anlage.

Beim Durchstreifen der Nehrung mafs ich wiederholentlich die steilsten landseitigen Dossirungen der Dünen, indem ich zu wissen wünschte, in welcher Neigung gegen den Horizont dieselben sich wohl dauernd erhalten könnten. Die vorstehend angegebenen Maafse würden sehr oft an einzelnen Stellen noch übertroffen. Die gröfste Neigung, die ich fand, betrug 41 Grade. Sie lag sehr geschützt vor Winden in einem dichten Gebüsch und war mit Moos und Farrenkräutern überzogen. Ihre Höhe betrug etwa 20 Fufs.

Welche Zerstörungen solche wandernde Dünen veranlassen, ergiebt sich aus mehrfachen Thatsachen. Von ältern Personen wurde mir erzählt, dafs sie das Dorf Polski auf der Frischen Nehrung (dem Städtchen Braunsberg gegenüber) als eine lang ausgedehnte Häuserreihe mit dazwischen liegenden Gärten und umschlossen von Wiesen und Gebüschen in ihrer Jugend gekannt hätten. Gegenwärtig stehn zwei Gruppen von wenigen Häusern weit von einander getrennt. Es sind die beiden Enden des ehemaligen Dorfs, denn eine Düne ist dazwischen getreten und hat den mittlern Theil verschüttet. Dieselbe blieb aber hier nicht stehn, sondern setzte ihren Weg bis in das Haff fort, wo sie einen Haken bildete, der früher nicht existirt hatte. Einige Meilen weiter, in der Richtung nach Danzig, trifft man auf die Stellen, wo im vorigen Jahrhundert zwei Dörfer, nämlich Klein-Vögler

---

*) Dieses kleine Instrument, auf dessen Anfertigung der Ober-Geometer Mayer in Carlsruhe ein Patent erhalten hat, ist zu ähnlichen Aufnahmen überaus bequem, doch mufs darauf aufmerksam gemacht werden, dafs der Verfertiger, wenn nicht bei der Bestellung die übliche Eintheilung des Kreises verlangt wird, die veraltete französische Centesimal-Eintheilung wählt.

und Schmergrube standen, die gänzlich verschwunden sind. Beim weitern Zurückbauen des Dorfes Vögler hatte man die Kirche möglichst lange zu erhalten gesucht, nachdem aber 1827 der Thurm bereits verschüttet war, wurde die Kirche abgebrochen und weiter südöstlich wieder aufgebaut.

Viel grofsartiger treten diese Erscheinungen auf der $12^1/_2$ Meilen langen Kurischen Nehrung auf, die mit Ausnahme einiger wenigen Punkte, woselbst Culturen und Reste der frühern Waldungen noch bestehn, in ihrer ganzen Breite von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Meilen nur eine kahle Sandschelle bildet. Nach Berendt*) erheben sich diese Dünen durchschnittlich 120 bis 150 Fuss über den Spiegel der Ostsee und sind nach den Aufnahmen des Generalstabs von 1837 bis 1839 und denselben von 1859 bis 1861 jährlich im Durchschnitt etwa 17 Fufs, stellenweise aber 30 Fufs, nach Osten gewandert. Obgleich dieses Resultat wegen des kleinen Maafsstabes der Aufnahmen kaum als sicher angesehn werden kann, so ist die Thatsache doch unzweifelhaft, und das Verschütten von Dörfern und Waldungen ergiebt sich aus den geschichtlichen Ueberlieferungen und hat auch gegenwärtig nicht aufgehört, da mit der Bildung von Vordünen nur in den letzten Jahren ein schwacher Anfang gemacht ist, und die wenigen Baumpflanzungen im Innern keinen Erfolg versprechen, so lange dem Abbruch des Meeresufers und in Folge dessen dem Uebertreiben neuer Sandmassen nicht Einhalt gethan wird.

Es mögen hier noch einige Thatsachen mitgetheilt werden, die Brémontier in seiner interessanten Abhandlung über die Dünen im südlichen Frankreich im Jahre 1795 bekannt machte**).

Zwischen den Mündungen des Adour und der Gironde befindet sich die ausgedehnte Dünenstrecke, die 31 deutsche Meilen lang und durchschnittlich zwei Drittel Meilen breit ist. Die Höhe der aufgewehten Sandmasse wird auf 9 Toisen oder 56 Rheinländische Fufs angegeben. Das Meer bricht von Jahr zu Jahr das Ufer weiter ab. Das Fort Cantin, zwei Stunden von Teste

*) Geologie der Kurischen Nehrung, von Dr. G. Berendt, Königsberg 1869.

**) In den Annales des ponts et chaussées 1833. I. pag. 145 ff. findet man diese Abhandlung, mémoire sur les dunes, mit vielfachen spätern Mittheilungen über denselben Gegenstand.

entfernt, wurde 1754 im Abstande von mehr als 100 Toisen (52 Ruthen) vom Meere erbaut, 1780 war es bereits von den Wellen verschlungen. Cordouan, an der Mündung der Gironde, gehörte früher zum festen Lande, seit langer Zeit war es damals bereits eine Insel geworden.

Die Beschreibung der Dünen stimmt in vielen Einzelnheiten mit denen der Frischen Nehrung überein. Ein flacher und breiter Strand, auf dem sich oft Triebsand bildet, begrenzt sie. An diesen schliefsen sich die unregelmäfsigen Hügel und Höhenzüge mit ihren tiefen Einrissen und Thälern an, und sind hier eben so veränderlich, wie bei uns. Die Vegetation stimmt genau mit derjenigen überein, die auf und zwischen unsern Dünen sich vorfindet. Weiterhin ordnen sich die Sandablagerungen zu langen Rücken, die parallel mit dem Strande sich hinziehn, und in das Binnenland fortschreiten. Brémontier sagt, die Körnchen hüpfen die seeseitige Dossirung hinauf, indem sie sich nie höher als 3 bis 4 Zoll über die Sandfläche erheben. Diese Angabe ist wohl nicht richtig, ich habe wenigstens bei Stürmen Staubwolken bis zu 20 Fufs Höhe auf den seeseitigen Dossirungen gesehn. Auch mufs ich der Mittheilung widersprechen, dafs jedesmal nur die vorher gelockerte Oberfläche angegriffen wird, und dafs die darunter liegende Sandmasse durch beigemengte Thontheilchen gebunden sei, daher erst durch Regen oder starken Nebel gelöst werden müsse, bevor sie ein Spiel des Windes werden kann. Dieses ist bei unsern Dünen nicht der Fall, auch die Neigungen der beiderseitigen Dossirungen werden viel gröfser angegeben, als sie bei uns vorkommen. Es wird nämlich gesagt, dafs die seeseitige Böschung 10 bis 25 Grade und die landseitige 50 bis 60 Grade gegen den Horizont geneigt sei. Beide Angaben sind wohl mehr als zweifelhaft, oder man müfste annehmen, dafs dort der Sand wirklich sehr thonhaltig wäre. Dieses ist aber kaum glaublich, da die Dünen noch schneller, als bei uns, fortschreiten sollen, was eine gröfsre Beweglichkeit des Sandes voraussetzt. Brémontier sagt, die Dünen rücken in jedem Jahre durchschnittlich 10 Toisen oder 62 Fufs vor, und er erwähnt, dafs er selbst gesehn habe, wie einst eine Düne in einer Stunde um mehr als 2 Fufs sich fortbewegt habe. Endlich werden mehrere Beispiele der dadurch angerichteten Verwüstungen mitgetheilt, und namentlich die

Waldungen benannt, die unter ihnen begraben und verschwunden sind, wie auch die Zerstörung eines Dorfes mit seiner Kirche.

Um die Beschreibung der Dünen, wie sie in ihrem natürlichen Zustande sich darstellen, zu vervollständigen, müssen noch die Pflanzen erwähnt werden, die man auf ihnen findet und die beim Dünenbau vorzugsweise von Wichtigkeit sind.

Unter diesen ist zuerst der Strandhafer oder das Sandrohr auch Helm genannt zu erwähnen (arundo arenaria), der sich vorzugsweise auf den Dünen neben der See vorfindet und oft grofse Stellen derselben überzieht. Die steifen, schmalen, schilfartigen Blätter, die bis 2 Fufs lang werden, enden in eine scharfe Spitze. Sie sind von mattgrüner Farbe und selbst wenn sie in vollem Wachsthum sich befinden, ganz dürre. Bei ihrer zähen und lederartigen Beschaffenheit lösen sie sich nicht beim Absterben, sondern hängen noch mehrere Jahre hindurch an dem Stamm. Die ährenförmige Rispe, wie der Halm, steht senkrecht, und die Seitenzweige, die aus dem Wurzelknoten ausschiefsen, behalten gleichfalls diese Richtung, woher die Pflanze, selbst unter günstigen Verhältnissen, sich nur wenig seitweits ausbreitet. Sie erreicht die Höhe von 1 bis 2 Fufs, doch entwickeln sich nur neue Triebe, wenn sie frisch mit Sand überweht wird. Geschieht dieses nicht, so vegetirt sie nur, ohne neue Blätter oder Zweige zu treiben, und stirbt langsam ab. Es ergiebt sich hieraus, dafs der Sandhafer vorzugsweise geeignet ist, den fliegenden oder den von der See frisch aufgeworfenen Sand aufzufangen. Wenn er während des Herbstes und Winters von diesem so hoch überschüttet ist, dafs die Spitzen der Blättchen nur noch wenige Zolle darüber vorragen, so entwickelt sich im Frühjahr sehr kräftig der neue Trieb, die Pflanze wächst wieder empor und treibt frische Blätter und Seitenzweige, so dafs sie im nächsten Winter wieder grofse Sandmassen auffängt. Wenn er aber auch zufällig vom Sande ganz überdeckt wird, so dafs er darin vollständig verschwunden ist, so wächst er etwas später im Frühjahr daraus doch wieder hervor.

Als einst ein Hügel, der auf diese Art ohnfern der Frischen Nehrung sich gebildet hatte, während eines Sturmes von den Wellen erreicht und abgespült war, lagen die einzelnen Pflanzen auf dem neuen Strande, in welchen grofsentheils ihre Wurzeln

eingewachsen waren. An der Länge der entblöfsten Wurzeln konnte man erkennen, dafs sie nach und nach etwa 14 Fufs hoch in dem von ihnen aufgefangnen Sande aufgewachsen waren, und in Abständen von etwa 9 Zoll bemerkte man Knoten, die immer neue Wurzelfasern getrieben hatten. Ein andrer Vorzug dieser Pflanze, der unter Umständen von grofser Bedeutung ist, bezieht sich darauf, dafs das Vieh sie nicht leicht frifst, sie also in dieser Beziehung vor Zerstörungen ziemlich gesichert ist.

Beim Anpflanzen des Helms mufs man auf manche Umstände Rücksicht nehmen. Zunächst gedeiht derselbe nur im reinen Sande und wenn eine dünne Lage desselben, die man festhalten will, auf Thonboden ruht, so wächst er nicht an. Er stirbt auch ab, wenn er oft und anhaltend vom Wellenschlage erreicht wird. Vorzugsweise ist er aber unbrauchbar und vertritt nur die Stelle von eingesteckten Strohbüscheln, wenn er dem Sandfluge entzogen wird. Aus diesem Grunde ist er zur Sicherung flacher Dossirungen der Binnen-Dünen, wenn dieselben festgelegt werden sollen, von wenig Nutzen. Er ist aber in diesem Fall sogar schädlich, insofern die langen steifen Blätter neben dem Stamm knicken und nunmehr, indem der Wind sie hin und her treibt, fortwährend mit der harten Spitze den Sand aufwühlen. Sie ziehn dabei kreisförmige Furchen rings um sich, die sich oft zu vollen Kreisen ausbilden und jeden Keim einer andern Pflanze in ihrem Bereich durch Auskratzen des Sandes lösen. So hatte ich einst eine kahle Fläche, die ziemlich geschützt lag, durch Anpflanzung von Strandhafer gegen das weitere Verwehen gesichert, und als ich darin Kiefern säete, so entwickelten dieselben sich zwar anfangs ganz nach Wunsch, während des Winters wurden aber durch diese Blätter ihre Wurzeln entblöfst und der Wind trieb die kleinen Pflänzchen fort. Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs dieses Gras auch insofern schädlich ist, als es beim Auffangen des Sandes die Unregelmäfsigkeit der Dünenbildung wesentlich befördert, so lange es nur stellenweise aufkommt und nicht gleichmäfsig gepflanzt ist.

Eine zweite Pflanze, beim Dünenbau gleichfalls von grofser Bedeutung, ist der Strandweizen (elymus arenarius). Er unterscheidet sich von dem Strandhafer sehr augenfällig dadurch, dafs seine Blätter, die etwa 9 Linien breit und $1^1/_2$ Fufs lang

sind, eine frische grüne Farbe haben, sich auch beim Anfassen saftiger zeigen, und nicht senkrecht aufstehn, vielmehr flach auf dem Boden liegen. Die Aehre, auf einem etwa 3 Fufs hohen Halm stehend, erreicht die Länge von gegen 6 Zoll und sieht der des gewöhnlichen Hafers nicht unähnlich.

Der Strandweizen ist besonders insofern wichtig, als er unter solchen Verhältnissen gedeiht, unter denen der Strandhafer abstirbt, er kann aber wiederum auch diesen nicht ersetzen, wenn die localen Verhältnisse für den letztern günstig sind. Im Allgemeinen fordert er mehr Feuchtigkeit, als dieser, in der Höhe von 10 Fufs über dem Wasserspiegel des Meers oder darüber wächst er nicht mehr kräftig an, dagegen leidet er nicht, wenn auch die Wellen zuweilen längere Zeit hindurch über ihn fortschlagen, doch dürfen sie natürlich nicht den Sand unter ihm ausspülen. Diese Verschiedenheit giebt sich schon sehr auffallend dadurch zu erkennen, dafs man auf den natürlichen Sandablagerungen ihn vorzugsweise am Fufs der Dünen, also auf dem höhern Theil des Strandes vorfindet, während die Düne selbst sich mit Strandhafer überzieht. Auch ein thoniger Untergrund behindert ihn nicht, wenn derselbe nur wenigstens 1 Fufs hoch mit Sand überdeckt ist. Sobald man ihn aber auf höheren Flächen anpflanzt, so stirbt er ab und besonders leidet er, wenn frischer Sand ihn ganz überdeckt. Man kann ihn also nur anwenden, um den niedrigen Fufs der Düne zu halten. Sobald der Boden sich hinreichend erhöht hat, mufs man ihn durch Strandhafer ersetzen. Vor dem Letztern hat er noch den wesentlichen Vorzug, dafs er Seitentriebe wirft, die wieder wurzeln, wodurch er bald gröfsere Flächen dicht überzieht.

Wo Viehweide in den Dünen gestattet ist, wird seine Anpflanzung in sofern höchst bedenklich, als er ein sehr kräftiges Futter bildet, und sowol das Hornvieh, als auch vorzugsweise Pferde davon nicht abzuhalten sind.

Die übrige Vegetation auf dem Strande selbst, wie auch auf den Dünen pflegt sich mit Ausnahme des Weidenstrauchs, von dem später die Rede sein soll, nur in vereinzelten Pflanzen zu zeigen. Hierher gehören zunächst dieselben Gewächse, welche den Groden oder den in der Bildung begriffenen Marschboden überziehn (§ 15). Sowol die Seekrappe, als auch das Salzkraut

findet man nicht selten, wenn der Boden auch nur aus reinem Seesande besteht. Die Sternblume zeigt sich dagegen häufiger und bildet selbst gröfsere Gruppen.

Das Sandkraut (arenaria peploïdes) findet man auch oft. Dieses ist eine niedrige überaus zierlich gebaute Pflanze, deren kleine eiförmige Blätter sich kreuzweise gegenüberstehn und eine regelmäfsige vierseitige Pyramide bilden. Man sieht oft Flächen von etwa 100 Quadratfufs Ausdehnung damit überzogen. Ihre vielfachen Wurzeln und Seitentriebe scheinen den Sand sehr gut zu halten, doch sind sie wohl niemals künstlich angepflanzt worden.

Dem wilden Veilchen (viola canina) und dem Stiefmütterchen (viola tricolor parviflora) begegnet man auch häufig auf ganz kahlen Sandflächen. Dasselbe ist der Fall mit der Seedistel (eryngium maritimum), die mit ihren blauen ganz steifen, und mit Stacheln besetzten Blättern im reinen Sande oft einen 3 bis 4 Fufs hohen Busch bildet. Endlich wäre noch der grofsblättrige Huflattich (tussilago petasites) zu erwähnen, der sich jedoch vorzugsweise nur auf thonigem Untergrunde findet. Er ist besonders vor hohen abbrechenden Thonufern von Wichtigkeit, indem er den Fufs derselben mit seinen grofsen Blättern vollständig überdeckt und den Sand festhält. Doch kommt derselbe zuweilen, jedoch alsdann immer nur vereinzelt, auch an solchen Stellen des Strandes vor, die aus reinem Seesande bestehn.

Die vorstehend genannten Pflanzen sind diejenigen, die man auf dem Strande selbst und auf kahlen Dünen am häufigsten antrifft, ich mufs dabei aber erwähnen, dafs ich überrascht war, eben diese Pflanzen und zwar in demselben Verhältniss ihres Vorkommens, und ohne dafs ich irgend eine andre dazwischen entdecken konnte, am Strande des Mittelländischen Meeres auf der südlichen Küste von Frankreich wieder zu finden. Bei Port d'Agde, zwischen Cette und Béziers, an der Mündung des Herault, wo man die Festlegung der Dünen versuchte, überzeugte ich mich hiervon, und die Mittheilungen in den französischen Zeitschriften über die Dünen zwischen dem Adour und der Gironde, besagen, dafs auch dort die Flora genau dieselbe ist. Der Unterschied von 11 Breitengraden hat also keinen Einflufs auf die Vegetation am Meeresstrande. Bei den Dünen-Culturen selbst trat ein solcher

freilich sehr auffallend hervor. Während man bei uns Kiefern sät, fand ich am Mittelländischen Meere Schonungen von Pinien und Tamarinden.

Im Innern der Dünen und zwar vorzugsweise in den Thälern, doch auch vielfach auf den Abhängen der Kuppen und auf diesen selbst, soweit sie nicht den Stürmen ganz bloſsgestellt sind, findet sich häufig ein Gras, welches ganz besonders zur Festlegung der Dünen beiträgt. Dieses ist die Sandegge oder das Sandriedgras (Carex arenaria). Seine Blättchen sind nur etwa 3 Zoll lang, aber diese Pflanze zeichnet sich aus durch die langen Seitentriebe, die sie in allen Richtungen verbreitet. Man sieht häufig auf dem kahlen Sande, daſs diese Triebe sich in sechs Strahlen umher ziehn, und jeder hat in Entfernungen von 4 bis 6 Zoll einen Knoten, der wieder Wurzeln und Blättchen treibt, also eine selbständige Pflanze bildet. Letztere leidet aber nicht, wenn zufällig unter ihr der Sand fortweht, also die Wurzel entblöſst wird, denn die Stiele, die zu den andern herüberreichen, geben ihr die nöthige Nahrung. In einem Sommer überzieht eine einzige solche Pflanze oft eine Quadratruthe Oberfläche, und durch die neuen Seitentriebe bildet sich in den nächsten Jahren ein dichter und fester Rasen aus. Ich lieſs einst dieses Gewebe von Wurzeln ausziehn und in kleine Stücke zerschneiden. Die letztern wurden in Furchen im kahlen Sande ausgestreut und überzogen denselben bald mit zahlreichen Ranken.

Was die Sträucher betrifft, die man auf den Dünen findet, so müssen, abgesehn von den wilden Rosen, die immer nur vereinzelt vorkommen, vorzugsweise verschiedne Weiden-Arten genannt werden. Hauptsächlich ist es die Sandweide (salix arenaria), die sich dem Strand am meisten nähert, und auf die Dünenbildung oft einen wesentlichen Einfluſs ausübt, wie schon bemerkt wurde. Sie hat breite zugespitzte Blätter, die auf der obern Seite dunkelgrün, auf der untern dagegen mit Haaren dicht besetzt und fast weiſs sind. Sie pflegt nur eine mäſsige Höhe zu erreichen, vegetirt aber um so kräftiger, je höher sie mit Flugsand überdeckt wird.

Sehr ähnlich ist ihr in der ganzen Erscheinung eine andre Weide (salix daphnoïdes), deren Zweige von dunkelrother Farbe

sind, aber bei frischen Seewinden sich wie Pflaumen mit blauem Reif überziehn, der bei der leisesten Berührung verschwindet. Oftmals sah ich, dafs diese Weide, wenn sie während des Winters ganz mit Sand überdeckt war, Schöfslinge trieb, die bis 10 Fufs hoch waren.

Auch die Korbweide (salix viminalis) findet sich häufig auf den Dünen, so wie viele andre, mehr oder weniger bekannte Arten derselben. Ich erwähne unter diesen noch die kleine Silberweide (salix rosmarinifolia), die kaum 1 Fufs hoch über den Boden sich erhebt und nur in Niederungen bleibt, welche bereits durch Riedgras festgelegt sind. Sie verbreitet sich hier in weiten Flächen so sehr, dafs sie jede andre Vegetation verdrängt.

Es ist überflüssig, von den verschiednen Bäumen zu sprechen, die auf den Dünen fortkommen, weil in mäfsiger Höhe und auf dem bereits festgelegten Seesande wahrscheinlich jeder Baum wächst. Auf der Frischen Nehrung sieht man Birken, Ellern, Pappeln, Eichen, Akazien und viele Andre. Die Eller oder Else scheint zwischen den Dünen vorzugsweise zu gedeihn und zwar eben sowol die gemeine (alnus glutinosa), wie auch die weifse Eller (alnus incana). Man trifft sie aber nicht nur in den Niederungen, sondern selbst auf Abhängen, und auf höher belegenen Sandflächen wächst sie leichter an, als jeder andre Baum. Ihre Cultur ist auch in sofern sehr wichtig, als der dichte Schatten, den sie um sich verbreitet, Veranlassung giebt, dafs der Boden sich schnell mit einer Grasnarbe überzieht, was bei der Birke und Weide nicht geschieht, oder doch nicht durch die Anpflanzung derselben veranlafst wird. Die ältern Dünen, die in frühern Zeiten sich bildeten, und durch neue Ablagerungen vom Meere weiter entfernt sind, sieht man bei uns jedesmal mit Kiefernwaldungen überzogen. Bei der Dünen-Cultur verfolgt man auch vorzugsweise den Zweck, Kiefernschonungen auf den Sandflächen aufzubringen.

Schliefslich mufs noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs der ganz reine Seesand keineswegs so unfruchtbar ist, als man glauben sollte. Die Vegetation darauf wird unbedingt durch die feuchte Luft, in Folge der Nähe der See, wesentlich begünstigt, aufserdem hat aber auch vielleicht die vielfache Berührung

mit der Luft den Sandkörnchen einen Theil ihrer Sterilität benommen. Sobald eine Niederung zwischen den Dünen gegen Sandflug geschützt ist, und von rauhen Winden nicht getroffen wird, so entwickelt sich darauf eine sehr kräftige Vegetation. Gemüse aller Art, sowie auch fruchttragende Sträucher, wachsen darauf und auf den Dünen in Frankreich ist der Weinbau wiederholentlich mit Erfolg versucht worden. Diese Fruchtbarkeit ist jedoch nicht dauernd, und wenn nicht für starke Düngung gesorgt wird, so verschwindet sie nach wenig Jahren.

§ 26.

Die Vordüne.

Aus Vorstehendem ergiebt sich, dafs unbefestigte Dünen nicht nur an sich beinahe ganz werthlos, sondern auch für die angrenzenden Fluren höchst gefährlich sind. Die Jagd, sowie eine spärliche Viehweide bieten allein einigen Ertrag von solchem Terrain. Durch letztere wird jedoch der Boden immer wieder aufgelockert und zwar vorzugsweise an denjenigen Stellen, wo die Fläche bereits mit einiger Vegetation sich überzogen hatte. Dieses Dünenterrain hat keine abgeschlofsne Grenze, sich selbst überlassen dehnt es sich vielmehr landwärts immer weiter aus. Theils begraben die wandernden Dünen unter sich die Waldungen, theils aber fliegt der Sand in weite Ferne und schädigt die Aecker und Wiesen, bis er sie endlich in kahle Sandsteppen verwandelt, deren verheerende Wirkungen sich nunmehr wieder weiter verbreiten. Endlich kommt noch hinzu, dafs auch der Meeresstrand im Allgemeinen zurückweicht und der vordringenden Düne folgt.

Durch den dauernden Abbruch des Ufers werden grofse Sandmassen gelöst, die aber nicht in die Tiefe des Meers versinken, sondern an dieser oder an einer andern Stelle wieder aufs Ufer geworfen werden, und indem sie die Bildung neuer Dünen veranlassen, mit dazu beitragen, die dahinter liegenden Flächen zu versanden. Den ferneren Abbruch der Ufer mufs man verhindern, wenn man das Uebel in seiner Wurzel angreifen und dauernde Erfolge herbeiführen will. Dieses Ziel ist in vielen Fällen dadurch zu erreichen, dafs man eine Vordüne

schafft, die dauernd den aus der See aufgeworfenen Sand aufnimmt und zugleich das dahinter liegende Ufer oder die Dünen gegen ferneren Abbruch schützt, so wie auch von denselben den Sandflug abhält. Obwohl man gewöhnlich auf die Bildung und dauernde Instandhaltung der Vordüne wenig Aufmerksamkeit verwendet, so wird sich doch aus den folgenden Mittheilungen ergeben, dafs gerade hierdurch die günstigsten Resultate und die vollständige Festlegung und Cultur der dahinter belegnen Dünen gelungen ist. Wenn der Strand keinem besonders starken Angriff ausgesetzt ist, läfst sich oft die Vordüne mit geringen Mitteln darstellen. Vortretende Uferecken machen hiervon eine Ausnahme, die also durch unmittelbare Deckung oder durch Einbaue geschützt werden müssen. Auf der Frischen Nehrung, soweit die Bildung der Vordüne versucht ist, war diese jedesmal sehr leicht darzustellen und zu erhalten, dasselbe ist auch auf der Kurischen Nehrung der Fall.

Gewöhnlich versteht man unter Dünenbau nur die Festlegung und Cultur der kahlen Sandflächen, und obwohl man ohne Zweifel hierdurch zuweilen sehr befriedigende Resultate erreicht und ausgedehnte Gebüsche und Waldungen geschaffen hat, so bleiben diese Anlagen doch in ihrer Existenz bedroht, so lange das Meer ihnen immer näher rückt und immer frische Sandmassen vom Strand her darauf geworfen werden. Wenn aber endlich das Vorufer so weit verschwunden ist, dafs die Wellen den Waldboden wieder erreichen und Theile desselben mit den darauf stehenden Bäumen herabstürzen, so glaubt man oft dem fernern Abbruch dadurch Einhalt zu thun, dafs man das Ufer abgräbt und es mit einer flachen Dossirung versieht, die gemeinhin noch mit Strandgräsern bepflanzt wird. Hierdurch wird indessen nichts erreicht, denn wenn die Dossirung auch genügend wäre, um im Binnenlande den Absturz des Ufers zu hindern, so hat sie nicht entfernt die nöthige flache Anlage, um dem Wellenschlag zu widerstehn. Gleich nach den ersten Stürmen sieht man gewöhnlich in solchen Fällen, dafs diese Böschung, wenn sie auch 2- und selbst 3 füfsig abgegraben war, im untern Theil ganz verschwunden und stellenweise bis zu grofser Höhe steil abgebrochen ist. Es entsteht sogar oft die Frage, ob die Abbrüche nach solcher kostspieligen Abflachung nicht noch stärker geworden sind, als sie

früher waren. Derselbe Versuch pflegt indessen nach Verlauf einiger Jahre immer aufs Neue und mit gleichem Erfolg wiederholt zu werden. Zuweilen werden auch starke Zäunungen in den verschiedensten Richtungen gezogen, um die Ufer zu schützen. Mit Verwunderung habe ich mehrfach die eigenthümlichen Configurationen dieser Werke gesehn, die wahrscheinlich vorzugsweise strategischen und fortificatorischen Reminiscenzen ihren Ursprung verdankten, aber jedesmal eben so erfolglos, wie die künstlichen Böschungen waren.

Augenscheinlich ist es nicht nur Aufgabe, das bestehende Ufer gegen fernern Abbruch zu sichern, sondern man mufs auch den aus der See ausgeworfenen Sand unmittelbar am Strande auffangen, damit er nicht weiter landwärts fliegt. Diesen Grundsatz sprach Sören Biörn, der für die Stadt Danzig die Dünenbauten ausführte, schon in einer Denkschrift vom Jahr 1796 aus, indem er sagte, man müsse den von der See auftreibenden Sand vor den natürlichen Dünen auffangen, und zwar durch Strandgräser, die durch den abgelagerten Sand hindurchwachsen. Er empfiehlt also die Bildung von Vordünen, wenn er solche auch nicht ausdrücklich benennt, noch auch auf deren regelmäfsige Gestaltung besondern Werth zu legen scheint. Durch die Vordüne wird aber unter günstigen Umständen auch das Ufer geschützt, indem der Strand davor sich verbreitet und erhöht. Die dahinter liegenden Flächen werden neuen Versandungen entzogen, und hierdurch ihre Cultur so wesentlich erleichtert, dafs die Vegetation auf denselben sich von selbst einfindet. Aufserdem erreicht man hierdurch noch den grofsen Vortheil, dafs die Quantität des am Strande treibenden Sandes sich wesentlich vermindert, also auch die Hafenmündungen in der Nähe weniger der Gefahr der Versandung ausgesetzt sind.

Aus den vom Meer ausgespülten Sandmassen bildet sich die Vordüne. Die Darstellung und Erhaltung derselben berührt nicht die Forstcultur, gehört also ausschliefslich dem Wasserbau an, man bemerkt auch nicht leicht, dafs auf sie einige Aufmerksamkeit verwendet wird, so lange der Dünenbau in den Händen von Forstmännern ist.

Ueber die Bildung des Strandes ist bereits früher (§ 6) ausführlich gesprochen worden. Die Wellen laufen auf ihn auf

und soweit das Wasser sich nicht in den Boden einzieht, fliefst es über ihn fort in die See zurück. Die übertretende Welle greift den Strand um so mehr an, je steiler er sich erhebt, und das zurückfliefsende Wasser spült gleichfalls bei stärkerer Neigung mehr Material fort. Der Strand wird sonach am wenigsten angegriffen, wenn er recht flach geböscht ist. Dabei mufs er sich jedoch so hoch erheben, dafs die Kraft der Wellen gebrochen wird, bevor sie den Fufs des höhern Ufers erreichen, weil dieses sonst zerstört würde. Der Strand mufs daher auch hinreichende Breite haben, wenn er die Ufer schützen soll.

Die zu diesem Zweck erforderliche Höhe ist theils vom Wasserstande zur Zeit der heftigsten Stürme und theils von der Wellenhöhe abhängig. Der Strand erhebt sich jedoch nicht leicht so weit, dafs die Wellen das Ufer gar nicht erreichen, ihre Kraft vermindert sich aber beim Fortschreiten so sehr, dafs ihre Wirkung von wenig Bedeutung bleibt. Dafs die Neigung des Strandes sehr geringe sein mufs, ist schon (§ 6) erwähnt worden. Sobald sie steiler wird, greift die auflaufende Welle ihn an, und es bildet sich in ihm eine scharfe Stufe, die sehr schnell weiter landwärts rückt. Aus den mit der Wellenrinne angestellten Beobachtungen ergab sich schon als Minimum die Neigung von 1 : 10 und in einem Falle stieg sie schon hier auf 1 : 14. Die auf der Frischen Nehrung gemefsnen Profile ergeben aber flachere Böschungen, nämlich das Profil Fig. 81 hat 1 : 25 und das Profil Fig. 82 sogar 1 : 33. Bei wiederholten Messungen des Strandes an andern Stellen, wo derselbe sich regelmäfsig ausgebildet hatte, fand ich ihn niemals steiler, als 1 : 20. Wollte man also durch Abgraben des Ufers einen flachen Strand bilden, so müfste man wenigstens dieses Maafs wählen.

Demnächst darf der Strand aber auch nicht gar zu flach ansteigen, oder in diesem Falle mufs seine Breite um so gröfser werden. Bei grofser Breite bemerkt man häufig unmittelbar vor dem dahinter liegenden höheren Ufer eine auffallende Senkung, in welcher das von den Wellen aufgeworfne Wasser zurückfliefst. Die hierdurch entstehende Strömung veranlafst wieder neue Uferbrüche, solche Rinnen sind daher sehr nachtheilig.

Das Profil des Strandes, wenigstens seine Neigung, wenn auch nicht seine Breite, hängt indessen nicht allein von den

Wellen, sondern zum Theil auch unmittelbar von der Einwirkung des Windes ab. Die feinern oder gröbern Sandkörnchen sind, sobald sie trocken werden, ein Spiel der Winde, und nicht nur diejenigen, welche mehr oder minder zur Küste parallel gerichtet sind, sondern auch schwächere Seewinde, die noch keinen erheblichen Wellenschlag veranlassen, treiben den Sand fort. Treffen die Winde gegen ein hohes Ufer, so entsteht davor ein Luftdruck, der den Sand in die Höhe treibt, und seine Ablagerung am Fufs der steilen Wand nicht gestattet. Noch augenfälliger ist diese Erscheinung, wenn der Wind etwas schräg und selbst wenn er ganz parallel zum Ufer gerichtet ist. Es bilden sich alsdann vollständige R i n n e n vor den Ufern aus. Man sieht oft neben solchen diese Senkungen, während der Strand bis zu denselben von der See aus sehr gleichmäfsig ansteigt.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich vor allen geschlofsnen Wänden, wie etwa vor dichten Dielenzäunen, wogegen ein Stacketenzaun den Sand auffängt und von demselben leicht ganz verschüttet wird. Dafs in gleicher Weise wie dieser, auch Gebüsche wirken, besonders wenn sie entlaubt sind, wurde schon bei Beschreibung der Dünen erwähnt, und es ergiebt sich hieraus, dafs man den fliegenden Sand sehr sicher an beliebigen Stellen auffangen kann, wenn man daselbst Strauchzäune errichtet, die jedoch nicht dicht, sondern so lose sein müssen, dafs sie vielfache und weite Oeffnungen enthalten.

Dieses Verfahren ist schon lange mit Erfolg angewendet. Vor der nähern Bezeichnung desselben mufs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs der Wind die kahlen S a n d - f l ä c h e n, die er trifft, a u s e b n e t. Die vorragenden Erhöhungen und Kanten greift er vorzugsweise an, während die tiefern Stellen seiner Einwirkung sich entziehn. Er schneidet daher jene ab, und mit dem dadurch gelösten Material füllt er die letztern an. Dieses geschieht jedoch nur so lange, als die Flächen wirklich kahl sind, und nicht etwa Gebüsche, Gräser oder andre Pflanzen darauf wachsen, welche den Sand auffangen und festhalten. Der Strand ist gemeinhin von aller Vegetation frei, woher derselbe in der angegebnen Art sich ausebnet. Indem bei stärkerm Seegange die Wellen ungehindert darauf auflaufen und ohne Unterbrechung ihre Bewegung soweit fortsetzen, als die

ihnen mitgetheilte lebendige Kraft sie treibt, das Wasser aber theils in den Sand sich einzieht, und theils darüber gleichmäfsig nach der See zurückfliefst, ohne irgendwo tiefere Rinnen zu bilden, so bleibt ein Theil der mit den Wellen zugleich auftretenden Sandmasse auf dem Strande zurück. Wenn daher die Küstenströmung reichlich Sand mit sich führt, so tritt hier der günstige Erfolg ein, dafs der Strand ohne seine Neigung zu verändern sich verbreitet und erhöht. Der durch die Zäunung dargestellte Rücken wird dadurch nicht nur dem Angriff entzogen, sondern es sammelt sich davor auch reichliches Material, wodurch er sich später erhöht.

Zu diesem letzten Zweck mufs der Rücken eine rauhe Oberfläche erhalten und bepflanzt werden. Dieses geschieht am vortheilhaftesten durch Dünengras, das nicht nur den darüber treibenden Sand auffängt, sondern wenn es von diesem überdeckt ist, im nächsten Frühjahr um so kräftiger anwächst und in solcher Weise immer auf's Neue Sand auffängt und festlegt und die Vordüne erhöht.

In dieser Art wurde bis zum Jahr 1830 auf dem zum Königsberger Regierungsbezirk gehörigen Theil der Frischen Nehrung eine Vordüne von etwa 2 Meilen Länge geschaffen. Alsdann ging der dortige Dünenbau an die Forstverwaltung über und die sich selbst überlafsne Vordüne war, als ich sie nach 30 Jahren wiedersah, grofsentheils auf 20 bis 30 Fufs hoch angewachsen, und wenn sie auch vielfach von der See wieder angegriffen wurde, indem keine neue Pflanzung an ihrem Fufs die flache Böschung wieder herstellte, so hatte doch jeder laufende Fufs derselben durchschnittlich etwa 15 Schachtruthen Sand aufgefangen, und indem diese enorme Masse nicht mehr in's Innere der Nehrung drang, so hatte sich die Vegetation daselbst in überraschender Weise ausgebildet.

Aehnliche Erfolge, wie hier, hat man wohl selten erreicht, aber auch nicht leicht ähnliche Sorgfalt darauf verwendet. Ohne Zweifel waren die Verhältnisse hier besonders günstig und namentlich führt der Küstenstrom hier grofse Sandmassen herbei, doch oft hat das Mifsglücken ähnlicher Anlagen auch in dem geringen Vertrauen zu denselben und darin seinen Grund gehabt, dafs die ganze Anordnung und Ausführung der Arbeiten unzuverlässigen Aufsehern überlassen werden mufste, welche sogar die erste Be-

dingung, nämlich die möglichste Regelmäfsigkeit, ganz unbeachtet liefsen. Nach einzelnen Versuchen auf der Kurischen Nehrung haben sich auch hier sehr günstige Erfolge gezeigt, doch blieben diese wenig beachtet, da man sich hier die Aufgabe gestellt hatte, die weit ausgedehnten kahlen Binnendünen möglichst schnell zu bepflanzen, und daher alle irgend verfügbaren Mittel hierauf verwendet wurden.

An der westlichen Seite von Schleswig auf der Insel Röm, nördlich von Sylt, führte 1868 der Graf Baudessin einen durchsichtigen Strauchzaun von etwa einer halben Meile Länge aus, um die dort in Aussicht genommene Hafenanlage gegen Versandung zu schützen. Der Erfolg dieses Baues überstieg die kühnsten Erwartungen, da die weit seewärts belegenen Bänke und trocknen Flächen überreiches Material lieferten. Der horizontal abgeschnittene, durchschnittlich etwa 5 Fufs hohe Zaun war in Kurzem nicht nur vollständig versandet, sondern die Ablagerung fiel mit etwa dreifsigfüfsiger Dossirung von der Krone des Zauns ganz regelmäfsig bis zum Wasserspiegel herab. Die Bepflanzung mit Gräsern kam indessen nicht zur Ausführung, weil das Hafenproject aufgegeben wurde.

Seit etwa 20 Jahren ist der Dünenbau auf der Pommerschen Küste im Betriebe. Die Verhältnisse sind hier im Allgemeinen weniger günstig. Vor hohen, steil abbrechenden und mit Wald bedeckten Ufern ist der Strand meist so schmal und niedrig, dafs Zäunungen und Graspflanzungen auf demselben bei heftigem Seegange leicht zerstört werden, aber auch in den niedrigen dazwischen liegenden Thälern sind die neugebildeten Vordünen grofser Gefahr ausgesetzt und verschwinden oft ganz bei heftigen Stürmen. Dafs die darauf verwendeten Kosten in solchen Fällen ganz ohne Nutzen blieben, darf man nicht sagen, da die Zerstörungen der dahinter liegenden Ufer gewifs noch gröfser gewesen wären, wenn die Vordüne nicht einige Zeit hindurch dem Andrange der Wogen Widerstand geleistet hätte. Jedenfalls erfolgen aber die Versandungen hier viel langsamer, als auf der Frischen Nehrung. Dieses rührt vielleicht davon her, dafs der Küstenstrom weniger Sand herbeiführt, auch keine ausgedehnten Sandbänke davor liegen. Vielleicht übt sogar die Richtung des Ufers gegen die der herrschenden und der heftig-

sten Winde einen nachtheiligen Einflufs darauf aus. Aufserdem wirkt die Abgelegenheit der Baustellen höchst schädlich. Der leitende Baubeamte kann dieselben kaum zweimal im Jahr bereisen und von den Dünenwärtern darf man nicht erwarten, dafs sie kleinere Beschädigungen sogleich ausbessern. Ist es aufserdem noch vorgeschrieben, dafs alle Anschläge rechtzeitig, also vor dem Eintritt der zufälligen Schäden aufgestellt werden müssen, so erweitert sich jeder kleine Einrifs nach und nach immer mehr und hat bei Eintritt heftiger Stürme den vollständigen Durchbruch zur Folge. Nichts desto weniger haben doch im Cösliner und im Stettiner Bezirk manche Anlagen dieser Art schon günstige Erfolge herbeigeführt und haben oft bei hohem Seegange nur wenig oder gar nicht gelitten, woher auch hier die Anlage von Vordünen nicht als ein mifsglückter Versuch angesehn werden darf.

Schliefslich mufs noch eines Umstandes erwähnt werden, der an der Pommerschen Küste mehrfach dem Dünenbau sehr störend entgegengetreten ist. Dafs die Uferbesitzer zu Anlagen dieser Art sich nicht verstehn, darf kaum befremden, da günstige Erfolge bisher noch nicht genügend hier erzielt sind, um das nöthige Vertrauen zu erwecken; dagegen wird ziemlich allgemein auch Widerspruch erhoben, wenn der Staat, um dem Versanden der Häfen, oder einen Durchbruch der See nach einem Binnenwasser vorzubeugen, die Bildung von Vordünen beabsichtigt. Den gröfsten Gewinn von diesen Anlagen hat unbedingt der Grundbesitzer, indem der weitere Abbruch des Ufers sowie auch das Eintreiben des Flugsandes dadurch verhindert wird, aber geringe Beschränkungen und Unbequemlichkeiten werden doch herbeigeführt, und man versucht in Bezug auf diese übermäfsige Entschädigungsforderungen zu begründen, wenn nicht überhaupt die Genehmigung zu solchen Ausführungen als Eingriff in Privatrechte ganz verweigert wird. Die ärmliche Viehweide auf den kahlen Dünen, sowie die Gelegenheit, das Vieh von jeder beliebigen Stelle aus nach der See übertreten zu lassen, und ebenso die beliebige Aufstellung einer Badebude sind die üblichen Behinderungsgründe, die gegen die Bildung von Vordünen ausgesprochen werden.

In der nachstehenden speciellen Beschreibung des Verfahrens

zur Bildung der Vordünen, sowie zur Unterhaltung derselben beschränke ich mich auf die Methode, die ich auf der Frischen Nehrung befolgte, da dieselbe zu den günstigsten Resultaten führte, auch an den vorstehend erwähnten andern Meeresküsten als Muster diente. Es mufs noch hinzugefügt werden, dafs die Ausführungen hier nicht nur durch die natürlichen Verhältnisse, sondern auch durch manche äufsere Umstände wesentlich begünstigt wurden. Die ganze Nehrung bis zur westpreufsischen Grenze war fiscalisch, Berührung mit Privatbesitzern gab es daher gar nicht und den wenigen Bewohnern, die für eine bestimmte Anzahl von Vieh die Weideberechtigung hatten, konnten leicht hierzu geeignete Plätze angewiesen werden. Das an einzelnen Stellen wachsende Strauch lieferte, wo es besonders dicht stand oder von den dagegen tretenden Dünen bedroht wurde, hinreichendes Material zu den Zäunungen, und konnte, so oft es gebraucht wurde, sogleich entnommen werden. Ferner war dem Hafenbauinspector in Pillau, unter dem die Dünenbauten standen, die Gelegenheit geboten, so oft er es für nöthig hielt, die Anlagen zu besichtigen, und endlich beschränkte sich der Wirkungskreis des Dünenwärters auf eine Strecke von wenig über 2 Meilen Länge. Diese wurde von ihm wöchentlich zwei Mal begangen, wobei er alle kleineren Beschädigungen selbst ausbesserte, von den gröfsern aber sogleich Anzeige machte.

Mit einer genauen Aufnahme des Strandes und der nächst belegenen Dünen mufs die Arbeit begonnen werden, indem zugleich die Höhen-Verhältnisse in die Karte einzutragen sind. Die Linie der Vordüne wird alsdann in der Art bestimmt, dafs der Strand davor noch hinreichende Breite behält, und dafs die bestehenden Dünen möglichst hinter der Vordüne blieben. Die letzte Rücksicht ist jedoch nur von untergeordneter Bedeutung, da die einzelnen Dünenkuppen sehr veränderlich sind und, so weit sie vor die Vordüne treten, leicht beseitigt werden können. Besonders wichtig ist die Richtung der Linie. Sie mufs dem Strande parallel in grofsen Zügen, also frei von scharfen Ecken, entweder gerade oder in sanften Krümmungen durchschnittlich bis 10 Ruthen vom Rande des Wassers entfernt sich hinziehn.

Soweit diese Linie in niedriges Terrain trifft, wird darin ein Fangzaun ausgeführt. Man hatte solche in früherer

Zeit wohl als Flechtzäune dargestellt, doch war diese solide Constructionsart in den meisten Fällen entbehrlich, da die Zäune gemeinhin schnell versandeten, also ihren Zweck schon vollständig erfüllt hatten, ehe sie bei Herbststürmen einem starken Angriff ausgesetzt waren. Es genügte demnach, sie nur aus eingegrabenen Reisern zu bilden, und hierbei zeigte es sich, dafs sie um so wirksamer waren, oder den Sand um so schneller auffingen, je mehr sie freie Zwischenräume zwischen sich liefsen. Ich liefs das Strauch daher so weitläufig stellen, dafs dasselbe nur etwa die Hälfte der Fläche deckte, und die andre Hälfte freier Zwischenraum blieb. Indem der Zaun aber leicht vom Winde durchbrochen werden konnte, oder die Sandablagerung davor ziemlich unregelmäfsig eintrat, so wurde ein zweiter gleicher Zaun im Abstande von 6 Fufs dahinter gestellt, der den ersten unterstützte und zugleich dazu beitrug, der spätern Vordüne eine Krone zu geben.

Um die möglichste Regelmäfsigkeit in der Ablagerung des Sandes zu erreichen, kam es darauf an, diesen Zäunen sogleich die passende und angemefsne Höhe zu geben. Die Sandschüttung, die daneben sich bildete, sollte mit Strandgräsern bepflanzt werden, sie mufste also etwa 8 Fufs hoch über dem mittlern Spiegel der See liegen. Es konnte dafür aber meist auch die Höhe von 10 Fufs angenommen werden, ohne dafs die Zäune mehr als 4 Fufs über die Oberfläche des Strandes vortraten. Sie erhielten aber keineswegs eine bestimmte Höhe über dieser, vielmehr wurden sie horizontal gehalten, und folglich um so niedriger, je höher der Sand sich bereits abgelagert hatte.

Die Ermittelung dieser Höhe geschah sehr einfach dadurch, dafs bei ruhiger See eine Stange von 8 oder 10 Fufs Höhe an den Rand des Wassers gestellt, und über deren oberes Ende fort nach dem Horizont der See visirt, und in der Linie des Zauns Pfählchen so weit eingetrieben wurden, bis ihre Köpfe die Visirlinie trafen. Auf Höhenunterschiede von wenigen Zollen kam es dabei nicht an, nur wenn der Wasserstand einen halben Fufs oder mehr von dem mittleren abwich, mufsten entsprechend längere oder kürzere Stangen benutzt werden.

Die Construction war folgende. Das Strauch, soweit es zur eigentlichen Zaunwand dienen sollte, brauchte keine gröfsere

Länge, als äufsersten Falls von 6 Fufs zu haben, doch auch kürzere Reiser von 4 Fufs und selbst darunter fanden noch vielfache Anwendung. Starkes Holz war entbehrlich, und sogar beim spätern Beschneiden nachtheilig und störend. Auch war es gleichgültig, welche Holzart man wählte, nur eigneten sich hierzu nicht frische Kiefernzweige, weil dieselben eine zu dichte Wand bildeten und der davor aufgetriebene Sand, der nicht mit der nöthigen Leichtigkeit hindurchfliefsen konnte, solchen Zaun umwarf. Ob die Seitenzweige unter spitzen, oder stumpfen Winkeln aus den Hauptästen austraten, machte keinen Unterschied, es mufste nur dahin gesehn werden, dafs die Zwischenräume etwa die Hälfte der Fläche frei liefsen.

Sobald das Strauch beigeschafft war, das grofsentheils in längeren Aesten und ganzen Stämmen bestand, wurden die zur Zaunwand dienenden Zweige abgehauen, nach den Längen sortirt und die stärkern Stücke theils zu Rückstangen zugeschnitten, theils auch als Pfähle in Längen von 5 und 6 Fufs verhauen und zugespitzt.

Nunmehr wurde in der vorher abgesteckten Linie ein Graben ausgehoben, einen Spatenstich tief und zwei Stiche breit. Der Sand hatte gemeinhin soviel Feuchtigkeit, dafs er dabei nicht sogleich nachstürzte. Geschah dieses aber, so mufste der Graben eine gröfsere Breite erhalten, denn es kam darauf an, dafs seine Sohle etwa auf 9 Zoll Breite frei war. In dieser wurde nunmehr noch eine tiefere Rinne, deren Höhe und Breite dem Blatt des gewöhnlichen Teichgräber-Spatens gleich war, ausgehoben, und in diese stellte man die Reiser ein, indem die Stamm-Enden derselben nach unten gekehrt wurden. In mäfsigen Entfernungen von einander waren vorher, und zwar auf der Seeseite, jene Pfählchen eingeschlagen, welche die Höhe bezeichneten, die der Zaun erhalten sollte. Nach diesen mufsten die Arbeiter das Strauch auswählen, welches sie in die Rinne einstellten, und dessen Wipfel-Enden die Pfahlköpfe stets überragten.

Fig. 78 zeigt im Querschnitt den Graben mit der tiefern Rinne in demselben und das eingestellte Strauch, so wie auch den gleichmäfsig auf beiden Seiten ausgeworfnen Sand und einen zur Normirung der Höhe eingeschlagnen Pfahl. Das Zuschütten des Grabens mufs dem Ausheben desselben sehr schnell folgen,

weil der Sand bei den steilen Böschungen nicht lange steht, und letztere bald zusammenstürzen, auch der Sand leicht fortfliegt. Zu diesem Zweck wird in dem breitern Graben, den zwei Arbeiter machen, sogleich von einem dritten die tiefere Rinne ausgehoben, und unmittelbar darauf stellt ein vierter Arbeiter das ihm zugetragene Strauch ein und zwei andre werfen wieder von beiden Seiten den ausgehobnen Sand zurück und treten ihn fest.

Indem das Strauch nur etwa 16 Zoll tief im Sande steckt und 4 Fuſs darüber vorsteht, so würde es dem Angriff selbst eines mäſsigen Windes nicht den nöthigen Widerstand leisten. Eine anderweitige Unterstützung ist daher noch nothwendig. Diese braucht man aber nur auf der Landseite, also gegen die Seewinde anzubringen, weil die Winde, die vom Lande her kommen, durch die vorliegenden Dünen so geschwächt sind, daſs sie keine Beschädigung des Zauns besorgen lassen. Zu diesem Zweck wurden, wie bereits erwähnt, die stärkern und längern Aeste und Stämme verwendet, die mit dem Strauch zugleich angefahren waren. Die Pfählchen von 5 bis 6 Fuſs Länge, die bei niedrigen Zäunen etwas kürzer sein dürfen, wurden mit einem Schlägel in 4 bis 6 Fuſs Abstand von einander möglichst nahe neben dem eingesetzten Strauch eingetrieben, so daſs ihre Köpfe etwa 6 Zoll tiefer standen, als die der Richtpfähle. Alsdann legte man Rückstangen zwischen diese und die Strauchwand, indem man letztere zurückdrückte, und band sie mittelst Bindweiden an die Pfähle. Schlieſslich wurde noch mit einer Gartenscheere der Zaun in der Höhe der Richtpfähle horizontal abgeschnitten. In dieser Weise kann man mit geübten Arbeitern an einem Tage 100 Ruthen Zäunung und selbst mehr darstellen. Fig. 79 *a* und *b* zeigt den fertigen Zaun im Querschnitt und in der Ansicht von der Landseite.

Wenn die Sandfläche, auf der die Zäunung ausgeführt wird, eine höhere Lage hat, so daſs der Zaun sie nur um 2 Fuſs, oder wohl noch weniger überragen darf, so vereinfacht sich die Construction insofern, als in diesem Fall die Unterstützung durch die Rückwand entbehrlich wird. Dieses geschieht namentlich jedesmal, wenn der Zaun sich an eine Düne anschlieſst. Auch in diesem Fall wurde er aber in der vorher bestimmten Horizontalen bis

zur Düne abgeschnitten, so dafs er zuletzt nur wenig über den Boden vorragte.

Wenn dagegen die Linie in sehr niedriges Terrain fällt, so dafs der Zaun 6 Fufs oder darüber hoch werden würde, so gewährt die angegebene Construction nicht mehr die nöthige Sicherheit, und zwar um so weniger, als eben wegen der niedrigen Lage der Sand in der Nähe feuchter ist und fester gebunden bleibt, und sonach die Versandung erst später eintritt. Solche Stellen waren überdiefs gemeinhin die Mündungen, die zu weit ausgedehnten Niederungen im Innern der Dünen führten. Bei starkem Wellenschlage füllten sich diese mit Wasser an, und später flofs letzteres wieder seewärts aus. Die daselbst ausgeführten Zäune mufsten daher nicht nur dem Stofs des Windes und der Wellen, sondern auch der Strömung in der einen und der andern Richtung widerstehn. In solchem Fall, der sich einige Mal auf der Nehrung wiederholte, wendete ich Flechtzäune an, deren Pfähle in 9 Zoll Abstand von einander eingeschlagen und so lang waren, dafs ihre Köpfe die beabsichtigte Höhe des Zauns erreichten. Es würde indessen auch solcher Flechtzaun nicht dem Andrange des Wassers widerstanden haben, wenn er gleich in seiner ganzen Höhe ausgeflochten worden wäre. Die Flechtruthen wurden daher zunächst nur etwa 2 Fufs hoch und zwar wieder mit weiten Zwischenräumen umgeschlungen, hiermit aber nach und nach so weit fortgefahren, als die Sandablagerung daneben sich erhöhte. Vortheilhafter war es indessen, durch solche Flechtzäune die Erhöhung des Bodens nur in soweit zu veranlassen, dafs später noch Strauchzäune darüber gestellt werden können. Hierdurch werden die längern Pfähle entbehrlich, die in den Gebüschen der Dünen weniger leicht zu beschaffen sind.

Sobald der eine Strauchzaun ausgeführt ist, so errichtet man im Abstande von 6 Fufs hinter demselben einen zweiten, der in seiner Construction und in seiner Höhe mit dem ersten genau übereinstimmt. Die Sandablagerung vor und zwischen beiden pflegt alsdann sehr schnell zu beginnen. Bei den Dünenbauten auf der Frischen Nehrung ereignete es sich häufig, dafs bei Wiederaufnahme der Arbeit in der nächsten Woche, die vor zwei Tagen errichteten Zäune schon vollständig mit Sand über-

deckt gefunden wurden, und wenn inzwischen sehr heftige Winde, namentlich in der Richtung des Strandes, geweht hatten, so waren selbst die Strauchhaufen vollständig versandet, so dafs sie das Ansehn von Dünenhügeln angenommen hatten und wieder ausgegraben werden mussten. Diese sehr schnellen Erfolge gewähren dem Dünenbau ein ganz besonderes Interesse. Durch keine andre Arbeiten kann wohl der Wasserbaumeister in so kurzer Zeit und mit so geringen Mitteln eine wesentliche Umgestaltung des Terrains und zugleich sehr günstige Resultate herbeiführen, als durch diese Anlagen.

Fig. 80 zeigt in der punktirten Linie die erste Sandablagerung neben solchen Zäunen, an die der ganze Strand bald mit einer sanften Böschung sich anzuschliefsen pflegt. Auf der innern Seite des ersten Zauns lagert sich der hindurchgedrungene Sand mit $1^{1}/_{2}$ bis 2 facher Anlage. Auch zu beiden Seiten des hintern Zauns bemerkt man in Kurzem einen schwachen Sandrücken. Letzterer gewinnt indessen seine volle Höhe nicht früher, als bis der erste Zaun ganz versandet ist, weil alsdann erst die Körnchen über ihn fortfliegen können. Die Figur zeigt die Sandablagerung, welche solche Zäune später zu veranlassen pflegen.

Diese Zäunungen kann man in jeder Jahreszeit ausführen, gemeinhin geschieht es indessen im Frühjahr oder im Spätherbst, weil alsdann die Arbeiter am leichtesten zu beschaffen sind, auch die Graspflanzungen alsdann gleichzeitig vorgenommen werden können.

Die Vordüne soll den von der See her auftreibenden Sand auffangen. Sie kann dieses nicht erfüllen, wenn sie nur den kahlen Damm bildet, der an die Zäunungen sich angesetzt hat. Ihre Oberfläche mufs daher mit vortretenden Halmen oder Reisern versehn sein, welche den hindurchstreichenden Wind mäfsigen und dadurch das Niederfallen des mitgeführten Sandes veranlassen. Dieses thun Strohbüschel, die man in den Sand steckt, wie man dieses auf den Dünen in Holland vielfach sieht. Sobald solche aber versandet sind, so versagen sie ihren fernern Dienst, und wenn man daher noch später den Sand auffangen will, so mufs man die Fläche auf's Neue bestecken. Das Dünengras und zwar vorzugsweise der Strandhafer erfüllt diesen Zweck dauernd, und wenn er überweht und sogar ganz verdeckt ist, so

wächst er im nächsten Jahr von selbst wieder empor, so daſs später neue Sandmassen durch ihn aufgefangen und fest abgelagert werden. Dieses Dünengras ist also vorzugsweise zur Bepflanzung der Vordüne geeignet, und zwar habe ich es immer am vortheilhaftesten gefunden, es in Reihen zu pflanzen. Eine Reihe muſs jedenfalls in die tiefere Rinne zwischen den beiden Zäunen gestellt werden, zwei oder drei andre kommen auf die äuſsere Dossirung. Noch eine auf die innere oder landseitige Dossirung zu stellen, ist entbehrlich, da der hierher fliegende Sand schon von den vorhergehenden Reihen hinreichend geschützt wird. Diese Reihen sind 3 bis 5 Fuſs von einander entfernt und liegen sämmtlich in der Richtung der Vordüne. Wenn daher der Wind in derselben Richtung steht, so würden leicht tiefere Rinnen zwischen ihnen ausgeweht werden. Um dieses zu verhindern, werden noch Querreihen dazwischen gezogen, die sich gegenseitig hinreichend zu unterstützen pflegen, wenn sie 8 Fuſs von einander entfernt sind. Sollten einzelne Felder besonders tief ausgeweht sein, so kann man sie durch Büschelpflanzung leicht wieder erhöhen. Beim Dünenbau ist es niemals Aufgabe, solche Anordnungen zu treffen, daſs man vor jeder möglichen Beschädigung vollständig gesichert ist. Dieses ist nicht zu erreichen. Es empfiehlt sich auch nicht, bedeutende Kosten hierauf zu verwenden. Man gelangt viel leichter zu einem günstigen Resultat, wenn man die Mittel nur so bemiſst, daſs sie für gewöhnliche Fälle genügen, und Nacharbeiten und Ausbesserungen dauernd in Aussicht nimmt.

Bei den Reihenpflanzungen stellt man die einzelnen Wurzeln oder Setzlinge $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll aus einander, man braucht daher für die Ruthe $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Schock, oder eben so viele Bunde, da 60 Stück zusammen gebunden werden. Das Pflanzen geschieht in Gräben, die nach der Schnur gezogen und etwa 1 Fuſs tief sind. Auf höhern und sehr trocknen Dünen müssen die Gräben tiefer sein, weil die Pflanzen sonst nicht anwachsen; auf der noch niedrigen Vordüne ist dieses jedoch nicht erforderlich. Ich habe die Gräser niemals ausgraben, sondern immer ausziehn lassen, weil letzteres viel wohlfeiler war. Dieses ist freilich dem Ungeübten nicht leicht, weil er meist die Wurzel in einer zu groſsen Höhe abreiſst. Die Arbeiter gewöhnen sich indessen

bald daran, die Pflanze richtig zu fassen und sie lothrecht in kräftigem Zuge zu heben, wobei der tiefer befindliche Theil der Wurzel, der bereits weniger fest ist, abreifst und alsdann noch zwei Wurzelknoten an dem Setzlinge bleiben.

Vielfach verlangt man, dafs drei Wurzelknoten am Halme bleiben sollen; hierdurch wird aber die Sicherheit für das Anwachsen nicht wesentlich vermehrt, und die Arbeit des Aushebens viel mühsamer. Schon im Jahr 1501 erliefs Philipp der Schöne die Verordnung, dafs die Gräser, mit denen die Dünen vor Petten bepflanzt werden sollten, drei Wurzelknoten haben müfsten.

Jedenfalls ist es nothwendig, die Stellen, wo die Gräser gezogen werden sollen, sorgfältig auszusuchen. Wo die Pflanzen stark versandet sind, was besonders im Frühjahr der Fall zu sein pflegt, lassen sie sich nicht ziehn, auch darf man nicht solche Pflanzen wählen, die kein frisches Ansehn haben, und über welche schon lange kein Flugsand sich gelagert hat. Auf den unregelmäfsig geformten Dünen pflegt man immer einzelne Stellen zu finden, wo das Gras die nöthigen Eigenschaften hat. Man ist dabei auch nicht zu strenge an die Jahreszeit gebunden. Am besten gedeihen wohl die Pflanzungen, die im Spätherbst ausgeführt werden, weil der Sand neben ihnen alsdann feucht bleibt, also das Treiben neuer Wurzelfasern begünstigt; auch werden sie durch den Sand, den sie sogleich auffangen, noch mehr gegen das Austrocknen geschützt. Auch das erste Frühjahr ist sehr geeignet; ich habe aber zuweilen bis in den Sommer pflanzen lassen, und die Gräser wuchsen jedesmal gut an, wenn sie noch frisch waren, auch nicht etwa unmittelbar darauf anhaltende starke Hitze folgte*).

Es ist schon mitgetheilt, dafs die Zäunungen auf der Nehrung nicht ununterbrochen fortgeführt werden konnten, sondern dafs sie sich zuweilen an vortretende Dünenköpfe anschlossen. An diesen Stellen zeigten sich jedesmal bald starke Verwehungen und Einrisse in den alten unbefestigten Dünen. Letztere

*) Sehr ausführliche Mittheilungen über die Auswahl und Behandlung der Dünengräser, so wie auch die betreffenden Veranschlagungssätze findet man in dem Werk „der Dünenbau auf den Ostseeküsten von G. H. Krause. Berlin 1850.“

durften daher in der Richtung der Vordüne nicht bleiben, wenn die möglichste Gleichmäfsigkeit und Regelmäfsigkeit erreicht werden sollte. Deshalb wurden alle Kuppen, die vor oder in der neuen Vordüne lagen, in ihrer Oberfläche entblöfst, indem die Gräser ausgerissen und das Weidenstrauch, das sich darauf befand, so tief wie möglich ausgeschnitten wurde. Wenn dieses im Herbst geschehn war, so pflegten die Stürme während des Winters schon die Kuppen zu beseitigen, die in dieser Weise jedes Schutzes entbehrten. Aber auch in andrer Jahreszeit traten oft die beabsichtigten Zerstörungen sehr bald ein.

Noch ein andres Verfahren habe ich mehrfach angewendet, um möglichst schnell denselben Zweck zu erreichen. Wenn nämlich ein starker Wind eintrat, stellte ich Arbeiter an diejenige Seite der Kuppe, die besonders heftig getroffen wurde, und wo eine recht kräftige Luftströmung vorbeizog. Hier wurde der Fufs der Böschung abgegraben und jeder Spatenstich Sand hoch aufgeworfen. Die Masse zertheilte sich alsdann sogleich und folgte dem Winde ins Binnenland. Der obere Theil der Dossirung stürzte nach und wurde gleichfalls vom Winde erfafst und fortgetrieben. So war es möglich, an einem Tage eine hohe Kuppe zu beseitigen, und man konnte den hier gelösten Sand, der den tieferen Einrissen zwischen den Dünen folgte, noch vortheilhaft zur Ausfüllung derselben benutzen, wenn daselbst leichte Fangzäune errichtet waren.

Es darf kaum bemerkt werden, dafs dieses letzte Verfahren keineswegs zur Ausbildung einer regelmäfsigen Vordüne führte. Der Sand wurde gemeinhin bis unter die Krone der letztern ausgerissen; doch war es leicht, durch Zäune von angemefsner Höhe die Ausgleichung wieder herzustellen. Durch unmittelbares Aufkarren von Sand oder Abgraben desselben wurde die Vordüne niemals gebildet, dieses vielmehr stets dem Winde überlassen. Wo der Sand noch zu hoch lagerte, durfte er nur entblöfst werden, alsdann trieb der Wind ihn fort, und wo eine zu tiefe Senkung entstanden war, veranlafsten Zäune die beabsichtigte Erhöhung. Die isolirten Kuppen aber, die vor der Vordüne auf dem Strande blieben, wurden in gleicher Weise beseitigt.

Bisher ist nur das Verfahren bei der ersten Anlage der Vor-

düne beschrieben, aber bereits angedeutet worden, dafs dieselbe einer sehr sorgfältigen Unterhaltung und periodisch auch einiger Nacharbeiten bedarf. Es kann nicht fehlen, dafs in den Reihen der Gräser manche Lücke entsteht, indem einzelne Pflanzen weniger kräftig anwachsen oder auch absterben. Hier streicht der Wind stärker hindurch, als an andern Stellen, er verhindert also daselbst nicht nur das Ablagern des Sandes, sondern bildet sogar eine tiefere Rinne, die um so bedenklicher wird, wenn mehrere solcher zufälligen Lücken hinter einander liegen. Indem solche Rinne sich immer weiter ausbildet, so kann sie schliefslich einen Durchbruch der ganzen Düne veranlassen, was jedenfalls verhindert werden mufs. Die Unregelmäfsigkeit ist im ersten Entstehn leicht zu beseitigen, aber dazu gehört eine ununterbrochene Aufmerksamkeit, und unmöglich kann man gröfsern Beschädigungen begegnen, wenn nur ein- oder zweimal im Jahr die Dünen inspicirt und alsdann die nöthigen Reparaturen veranschlagt werden. Bei solchem Verfahren steigern sich die Kosten der Instandhaltung leicht auf das Vielfache, und dazu kommt noch der Schaden, den nach dem Verschwinden der Vordüne der landeinwärts treibende Sand veranlafst. Es mufs daher jedenfalls für dauernde Beaufsichtigung gesorgt, und zugleich mufs der Aufseher verpflichtet sein, kleine Ausbesserungen sogleich selbst vorzunehmen. Wenn er in dem erwähnten Fall eine Rinne bemerkt, die etwa 1 Fufs tief und 5 Fufs breit geworden ist, die also schon bedenklich ist, so mufs er vom nächsten Gebüsch Zweige schneiden und aus denselben einige Querzäune bilden, welche die Rinne schliefsen. Eben so mufs er auch verpflichtet sein, die Reihen der Dünengräser, wo es nöthig ist, durch Nachpflanzung zu ergänzen, oder durch eingesteckte Gras- oder Strauchbüschel diejenigen Stellen zu sichern, die auffallend tief ausgeweht sind.

Damit dieser Dienst gehörig versehn werden kann, darf man dem Wärter keine zu grofse Strecke zuweisen. Er mufs alle drei Tage jeden Theil der ihm anvertrauten Düne begehn, und hieraus ergiebt sich, dafs letztere nicht länger als 3 oder höchstens 4 Meilen sein darf. Wenn derselbe Wärter auch zugleich die Aufsicht über die Culturen der Binnendünen führt, so läfst sich dieses mit dem in Rede stehenden Dienst verbinden, indem

er bei seinen Besichtigungen einmal den Weg am Strande und einmal durch das Binnenland macht. Er mufs auch zugleich darauf halten, dafs die Dünen nicht unbefugter Weise betreten werden und namentlich dafs kein Vieh auf dieselben kommt.

Es läfst sich nicht vermeiden, dafs hin und wieder und namentlich in der Nähe von Dörfern oder einzelnen Wohnungen über die Dünen gegangen und gefahren wird. Dieses darf indessen nicht willkürlich geschehn, vielmehr nur an bestimmten Stellen, und es ist am passendsten, solche Wege an beiden Seiten mit leichten Zäunungen zu versehn, weil sonst sowol die Fufsgänger, wie auch die Fuhrleute jedesmal diejenigen Stellen wählen, welche am meisten mit Dünengras bewachsen, also am festesten sind, die aber, wenn sie betreten werden, sich bald gleichfalls in kahle Sandflächen verwandeln. Bei frequenter Passage, also namentlich neben Badeörtern, pflegt man die Fufswege auch zu befestigen, indem Laufdielen darüber gelegt werden. Wenn Thonboden mit mäfsigen Kosten beizuschaffen ist, kann eine dünne Lage desselben von etwa 1 Zoll Stärke die Fufspfade schon wesentlich verbessern, und sobald dieses geschehn ist, darf man nicht besorgen, dafs die darüber Gehenden seitwärts ausweichen. Man erreicht dadurch den zweifachen Gewinn, dafs nicht nur die Graspflanzungen zur Seite unbeschädigt bleiben, sondern auch die Wege selbst gegen das Auswehn gesichert sind.

Die Fahrwege verwandeln sich gewöhnlich in tiefe Rinnen, die um so vollständiger sich ausbilden, also auch um so nachtheiliger sind, je weniger der hindurchziehnde Luftstrom durch dahinter liegende höhere Dünen unterbrochen wird. Beim Abstecken der Wege mufs man also darauf Rücksicht nehmen, sie so zu legen, dafs der Wind nicht mit zu grofser Heftigkeit hindurchstreichen kann, auch mufs ihre Richtung nicht mit derjenigen der herrschenden und stärksten Winde übereinstimmen. Nichts desto weniger läfst es sich doch meist nicht vermeiden, dafs die Fahrwege sich mit der Zeit in tiefe Einschnitte verwandeln, welche die Gleichmässigkeit der Vordüne in nachtheiliger Weise unterbrechen und alsdann ein starkes Durchtreiben des Sandes in das Binnenland veranlassen. Geschieht dieses, so bleibt nichts übrig, als die alten Wege durch Querzäune zu schliefsen, also die Vertiefung wieder durch Sandablagerung an-

zufüllen und demnächst mit neuen Gräsern zu bepflanzen, während inzwischen an einer andern geeigneten Stelle in der Nähe ein neuer Weg über die Vordüne eröffnet wird.

Bei Beschreibung der Ausführungen behufs der Bildung und Unterhaltung der Vordüne ist allein von der Anpflanzung des gewöhnlichen Dünengrases oder Sandhafers (arundo arenaria) die Rede gewesen, der in der That in den meisten Fällen auch allein hierzu geeignet ist. Nur wenn der Fufs der Vordüne stark angegriffen wird und der Strand davor besonders niedrig liegt, ist es zweckmäfsig, hier den Strandweizen (elymus arenarius) zu wählen, weil derselbe beim Wellenschlage weniger leidet und in kurzer Zeit den Boden dicht überzieht, also die Sandablagerung sicherer schützt.

In früherer Zeit hat man auch häufig Weidenstrauch angepflanzt, das unstreitig, wenn es einem starken Sandfluge ausgesetzt ist, viel kräftiger und schneller anwächst, als das Dünengras. Dabei sind indessen grofse Unregelmäfsigkeiten nicht zu vermeiden, und der Hauptzweck, nämlich eine gleichmäfsig benarbte Vordüne von gleicher Höhe und Breite darzustellen, die an keiner Stelle vom Winde angegriffen werden kann, wird dabei vollständig verfehlt. Statt derselben bildet man in diesem Fall wieder einzelne kahle Dünenkuppen, die schneller, als sie entstanden sind, wieder verweht werden, also immer auf's Neue grofse Sandmassen ins Binnenland treiben. Aus diesem Grunde habe ich nicht nur das Anpflanzen von Weiden auf den Vordünen ganz unterlassen, sondern wo sich diese darauf zeigten, was theils durch das Verwehn des Samens, theils aber auch zuweilen durch die Zäunungen geschah, indem einzelne Reiser noch Zweige und Wurzeln trieben, so wurden die neuen Triebe derselben, so oft sie den Sand durchbrachen, immer möglichst tief abgeschnitten oder ausgerissen, und hiedurch gelang es bald, sie vollständig zu beseitigen. Eben so wenig wurden aber auch andre Sträucher auf der Vordüne geduldet, vielmehr durfte diese nur mit Dünengras bestanden sein, damit sich überall dasselbe Profil darstellte und zur Aufnahme neuer Sandmassen immer geeignet blieb.

Schliefslich ist noch ein Umstand zu erwähnen, von dem die dauernde Erhaltung der Vordüne wesentlich abhängt.

Wenn die bezeichneten Arbeiten bei der ersten Anlage, so wie auch bei der Unterhaltung, also bei Beseitigung der eingetretenen Beschädigungen, in angemeſsner Weise ausgeführt werden, so wächst das Dünengras nicht nur von Jahr zu Jahr höher an, indem immer neue Sandmassen sich regelmäſsig darüber legen, sondern auſserdem breitet jede Pflanze sich in geringem Maaſse auch seitwärts aus, und man kann oft nach etwa fünf Jahren die ursprünglichen Reihen nicht mehr erkennen, indem die Felder vollständig durch die Seitentriebe gefüllt sind. Diese Sandablagerung erhebt sich im Laufe der Zeit weit über den Strand, der ihr nicht folgen kann, und sie bildet zuletzt eine merkliche Stufe gegen denselben, wodurch wieder ähnliche Erscheinungen veranlaſst werden, wie vor höhern Ufern. Der hintere Theil des Strandes wird alsdann ausgeweht und dadurch der Fuſs der Vordüne dem Angriff des Windes, wo nicht gar des Wellenschlags ausgesetzt. Ein solcher bedenklicher Zustand, der ohnfehlbar die endliche Zerstörung der ganzen Vordüne zur Folge haben würde, darf nicht unbeachtet bleiben. Man begegnet demselben sehr sicher, wenn man, sobald die Abstufung sich bemerkbar macht, sogleich eine neue Reihe Dünengräser davor anpflanzt. In dieser Weise kann man die sanfte seeseitige Dossirung dauernd erhalten, und zugleich die Vordüne in den Stand setzen, daſs sie die neu antreibenden Sandmassen stets in sich aufnimmt. Sie gewinnt dadurch nach und nach an Breite, wie ihre Höhe zunimmt, und wird bei solchem Verfahren in jeder Beziehung gesichert. An denjenigen Uferstrecken, wo der Sand nur in geringem Maaſse ausgeworfen wird, zeigt sich jener stufenförmige Absatz viel später, als an solchen Stellen, wo die See gröſsere Massen Sand herbeiführt. Das Eintreten der Gefahr giebt sich jederzeit sehr sicher und den localen Verhältnissen entsprechend zu erkennen. Es geschieht allerdings, daſs man diese Anzeichen ganz unbeachtet läſst, indem man nach der ersten Ausbildung der Vordüne seine Aufmerksamkeit allein auf die Cultur der Binnendünen verwendet. Letztere wird aber aufs äuſserste bedroht und wieder neuen Zerstörungen Preis gegeben, wenn die Vordüne einst durchbricht und der Sandflug nach dem Binnenlande sich wieder einstellt.

Die Vortheile, welche durch die Ausbildung und Unter-

haltung regelmäſsiger Vordünen erreicht werden, sind in den verschiedensten Beziehungen von der äuſsersten Bedeutung, und lassen sich meist durch die einfachsten Mittel und mit sehr geringen Kosten herbeiführen. Dieser Gegenstand ist indessen bisher nur an wenigen Punkten unserer Küste beachtet worden, und es war daher nothwendig, durch ausführliche Beschreibung des Verfahrens und durch Hinweisung auf die auſserordentlichen Erfolge, die oft in kurzer Zeit sich zeigen, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken.

§ 27.

Dünen-Cultur.

Sobald die Vordüne sich gebildet und mit Strandgräsern bedeckt hat, wird der von der See aufgeworfene Sand durch sie aufgefangen und das dahinter gelegene Dünenterrain ist alsdann gegen das Hinzutreten neuer Sandmassen gesichert. Die hier befindlichen unbefestigten und zum Theil ganz kahlen Sandschellen und Kuppen bleiben freilich noch ein Spiel des Windes und der von denselben sich lösende Sand kann auch den dahinter liegenden Culturen nachtheilig werden, aber ihre Befestigung und Bepflanzung wird nunmehr, da kein neuer Sand hinzukommt, um Vieles leichter, als früher. Man bemerkt sogar, wie bereits erwähnt, an denjenigen Stellen, wo der Seestrand nach und nach durch neue Ablagerungen weiter vorgerückt ist, also die See sich von den alten Dünen entfernt hat, daſs ohne irgend welche künstliche Mitwirkung ein dichter Kiefernwald die Düne bedeckt, wenn sie auch bis zu bedeutender Höhe sich erhebt. Solche Waldungen, wie etwa die Caseburger Forst ohnfern Swinemünde, bestehn aber schon seit Jahrhunderten, und man muſs daher annehmen, daſs sie ganz von selbst entstanden sind. Die vielfachen Baumstämme, die man zwischen andern Dünen häufig findet, deuten an, daſs auch diese Flächen einst nicht so kahl waren, als sie jetzt sind, und es giebt auſserdem historische Ueberlieferungen von vielfachen Zerstörungen solcher Waldungen. Vor zwei Jahrhunderten war der nördliche Theil der Frischen Nehrung bis zur Spitze derselben noch mit Kiefern bestanden, und in gleicher Weise erstreckten sich die Waldungen von Pillau

nordwärts bis Lochstädt. Die perspectivisch gezeichneten Karten aus der ersten Hälfte des siebenzehnten Jahrhunderts zeigen, dafs das bedeutende Dorf (Alt-) Pillau, welches rings um die noch bestehende Kirche sich ausbreitete, von Gärten, Wiesen, Aeckern und Wäldern umgeben war, während vor wenig Jahrzehenden hier nur kahle Sandschellen lagen. Dieses günstige Verhältnifs wurde dadurch aufgehoben, dafs der Commandant der kleinen Festung Pillau, Pierre de la Cave, aus Furcht vor einem Ueberfall der Schweden im Jahr 1677 sowol auf der Nehrung, wie auf der Nordseite von Pillau auf meilenweite Entfernungen alles Holz niederschlagen liefs. Die weiter südwärts belegenen Waldungen auf der Frischen Nehrung wurden aber vorzugsweise durch die Russen und Schweden im Anfange des vorigen Jahrhunderts verwüstet, indem sie hier Theerschwelereien einrichteten.

Wenn es hiernach keinem Zweifel unterliegt, dafs der aus reinem Seesande bestehende Boden in früherer Zeit sich von selbst mit Kiefern-Waldungen überzogen hat, so ist gewifs zu erwarten, dafs man durch künstliche Nachhülfe auch heutiges Tages dasselbe Resultat erreichen kann. In gewisser Beziehung treten die Ansiedelungen und die Bodencultur in Folge der ökonomischen Verhältnisse allerdings der Ausbreitung der Waldungen entgegen. Durch Umgraben und Pflügen der Flächen, die sich im Lauf der Zeit mit einer dünnen Lage Waldboden überdeckt haben, kann leicht die vegetabilische Erde wieder fortgetrieben werden, so dafs der Sand zum Vorschein kommt. Vor Allem sind aber die Viehweiden im höchsten Grade verderblich, da durch sie theils der Boden fortwährend wund getreten, theils aber auch jede Vegetation, die sich darauf zeigt, zerstört wird. Die Spärlichkeit der Vegetation veranlafst das Vieh, weit umher zu streifen und Alles zu fressen und zu benagen, wovon es sich irgend ernähren kann. Andrerseits giebt diese Viehweide auch den einzigen Ertrag solches verwahrlosten Dünen-Terrains und die Grundbesitzer, denen die Mittel fehlen, dasselbe in andrer Weise nutzbar zu machen, nehmen den geringen Vortheil wahr, den sie hierbei haben können. Als mir die Dünenbauten auf dem nördlichen Theil der Frischen Nehrung übertragen wurden, fand ich daselbst ganze Heerden von jungem Hornvieh, das ohne Aufsicht weidete. Dieses gehörte aber

nicht den wenigen Bewohnern auf diesem Theil der Nehrung, vielmehr wurde es von den am Haff belegenen Ortschaften im Frühjahr herübergebracht und im Spätherbst wieder eingefangen und zurückgeführt.. Der nächste Schritt mufste also dahin gerichtet sein, diesen Unfug, zu dem auf fiscalischem Terrain niemand berechtigt war, abzustellen. Das Einpfänden des Viehs war leicht, aber die Ermittelung der Eigenthümer sehr schwierig, woher es nur langsam glückte, alles fremde Vieh zu entfernen.

Die Festlegung der Sandflächen auf den Binnendünen und die Bepflanzung derselben mit Kiefern und andern Holzarten gehört nicht zum Wasserbau, sondern zur Forstwirthschaft. Es ist daher keineswegs Absicht, hier speciell darauf einzugehn, vielmehr sollen nur einzelne Punkte berührt werden, die bei der Eigenthümlichkeit der Seedünen vorzugsweise zu beachten sind. Dieser Gegenstand ist bereits vielfach ausführlich behandelt. Die oben erwähnte Abhandlung von Bremontier bezieht sich beinahe ausschliefslich hierauf und auch bei uns sind eine Anzahl von Druckschriften über die Cultur der Seedünen erschienen. Namentlich die Sicherung des Danziger Stadtwaldes hat zur Publication mehrerer Schriften Veranlassung gegeben, zu denen vorzugsweise das bereits angeführte Werk von Krause gehört.

Auf der Frischen Nehrung hatten sich von Neufähr aus, wo gegenwärtig die Weichsel ausmündet, bis gegen Kahlberg hin, also etwa auf 6 Meilen Länge, theils einzelne und theils zusammenhängende weit gestreckte wandernde Dünen gebildet, welche die dahinter belegenen fruchtbaren Niederungen langsam verschütteten, oder mit Flugsand überdeckten. Vorzugsweise verwüsteten diese Dünen den zur Stadt Danzig gehörigen Kiefernwald, der sich auf 4 Meilen Länge ausdehnt, und den sie bei ihrem Vorrücken von Jahr zu Jahr immer weiter begruben. Um ihrem fernern Vordringen Einhalt zu thun, wufste man bis gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts kein andres Mittel, als dafs man auf den Kämmen der Dünen aus Fichtenreisern Zäunungen ausführte, die den von der flachen seeseitigen Dossirung gelösten und herauftreibenden Sand auffangen und dadurch das weitere Vortreten der steilen landseitigen Dossirung verhindern sollten. Dieser Zweck wurde aber keineswegs erreicht, denn wenn auch grofse Sandmassen vor den Zäunen sich ab-

lagerten, und deshalb in jedem Jahr auf die ältern immer neue Zäune gestellt werden mufsten, so trieb dennoch sehr viel Sand darüber fort und das Uebel wurde keineswegs beseitigt, vielmehr nur vorübergehend etwas vermindert. Höchst bedenklich war dabei der Umstand, dafs der Kamm der Düne sich immer mehr erhöhte, also die Gefahr eines Durchbruchs immer gröfser wurde. Wenn endlich ein solcher erfolgte, so waren die Zerstörungen übermäfsig und keineswegs geringer, als wenn man die Düne ganz sich selbst überlassen hätte.

1768 stellte die naturforschende Gesellschaft in Danzig die Preisfrage, in welcher Weise den Versandungen der Nehrung begegnet werden könne. Dem Professor Titius in Wittenberg, der sich früher in Danzig aufgehalten hatte und mit den dortigen Verhältnissen bekannt war, wurde der Preis zuerkannt. Derselbe sagt in der betreffenden Abhandlung*), der Sand komme aus der Ostsee, wovon man sich durch die Wahrnehmung leicht überzeugen könne, dafs die Körnchen immer um so feiner werden, je weiter sie von dem Strande sich entfernt haben. Er empfiehlt daher, dasjenige Terrain, welches man mit Bäumen oder Sträuchern bepflanzen will, zunächst auf der Seeseite durch Zäunungen zu schützen, gegen welche der Sand sich ablagern kann. Die Pflanzung müsse aber hoch aufwachsen, damit sie auch den Sandflug verhindere, der für die dahinter belegenen Flächen schädlich ist. Wenn man mit Kiefern gleich den Anfang mache, so wachsen diese nicht gehörig an, sie bleiben vielmehr nur niedrig und es vergehen viele Jahre, bevor sie auch nur eine mäfsige Höhe erreichen. Ganz anders verhalte es sich mit den Acacien, die im reinen Sande gut gedeihn und sehr schnell emporwachsen. Demnächst werden auch auf den weniger geschützten Sandschellen Anpflanzungen von Dünengräsern empfohlen, aber die Anlage von Kiefernschonungen als der letzte Zweck der Culturen nur für spätere Zeit in Aussicht gestellt.

Wie richtig diese Andeutungen auch waren, so fanden sie

*) Herrn J. D. Titius' Abhandlung über die von der naturforschenden Gesellschaft in Danzig aufgegebene Frage: Welches die dienlichsten und am wenigsten kostbaren Mittel sind, der überhandnehmenden Versandung in der Danziger Nähring vorzubeugen und dem weitern Anwuchs der Sanddünen abzuhelfen. Leipzig 1768.

doch, wie es scheint, keine weitere Berücksichtigung und wurden vielleicht ganz vergessen, bis im Jahre 1793, als Danzig Preufsisch wurde, die Festlegung der Dünen wieder zur Sprache kam. Man meinte, dafs nicht nur der Stadtwald von Jahr zu Jahr immer weiter verwüstet, sondern auch der Handel von Danzig ernstlich bedroht werde, indem die wandernden Dünen stellenweise die Weichsel erreicht hatten und sich in diese zu stürzen drohten, wodurch nicht nur nachtheilige Versandungen, sondern selbst die vollständige Sperrung des Fahrwassers im Strom veranlafst werden könnte.

Ein Bürger von Danzig, Namens Sören Biörn, von Geburt ein Däne, machte wiederholentlich geltend, dafs man in seinem Vaterlande grofse Sandflächen durch Bepflanzung mit Strandgräsern festgelegt habe. Er empfahl daher dieses Mittel, sowie auch die Anpflanzung von Weiden und andern Holzarten. Im Jahre 1795 wurde ihm die Befestigung der 500 Ruthen langen Düne übertragen, welche die Weichsel in der Nähe von Neufähr besonders bedrohte. In den beiden folgenden Jahren führte er diese Arbeiten zur allgemeinen Zufriedenheit aus, worauf er als Plantagen-Inspector angestellt wurde und bis zu seinem Tode im Jahre 1819 die Dünenbauten auf der Danziger Nehrung leitete.

Seine Thätigkeit beschränkte sich aber nicht nur auf den Theil der Frischen Nehrung, auf welchem der Danziger Stadtwald liegt, vielmehr wurde Biörn in den Jahren 1799 bis 1802 vielfach zu Besichtigungen und zur Abgabe von Gutachten in Betreff der Behandlung der weiter nordwärts belegenen Dünen auf der Frischen und Curischen Nehrung und bei Lochstädt von der damaligen Kammer in Königsberg aufgefordert. Diese Gutachten sind zum Theil viel wichtiger, als die von ihm veröffentlichte Beschreibung seines Verfahrens. Aus jenen ergiebt sich, dafs er fortwährend auf die Anlage von Zäunungen drang, um den von der See aufgeworfenen Sand aufzufangen. Er erwähnt dabei des grofsen Nutzens, den die Seehäfen davon haben würden, indem sie alsdann weniger den Versandungen ausgesetzt wären. Alle diese Zäune müfsten aber nur niedrig und nicht über $1\frac{1}{2}$ Fufs hoch sein. Man solle sie aus eingegrabenem Strauch darstellen und sich besonders hüten, dafs sie nicht zu dicht würden, weil sie sonst ihren Zweck verfehlten, auch leicht beim

Sturm beschädigt werden könnten. Dagegen möchte man mehrere solche Zäune hinter einander stellen. Selbst vor den höhern Ufern bei Lochstädt empfahl er Zäunungen auf dem Strande. Nachdem dieselben versandet wären und eine flache Böschung sich davor gebildet hätte, sollten sie mit den Strandgräsern, die er Klittag nennt, bepflanzt werden, weil dieses die einzige Pflanze sei, die den Wellenschlag ertragen könne. Zur Cultur der Sandschellen empfahl er vorzugsweise die Kiefer und Eller, auch Birken, Pappeln, Espen und selbst Hainbuche (Corpinus betulus) habe er in gutem Wachsthum zwischen den Dünen gesehn; die Acacie, meinte er aber, verschwinde bald, wenn sie Anfangs auch zu gedeihn scheint. Er sprach sich aber stets dahin aus, man solle Anfangs nicht auf hochstämmige Bäume, sondern vielmehr auf dichtes Gebüsch Rücksicht nehmen.

In einer Abhandlung*), der ein Situationsplan beigefügt ist, beschreibt er sein Verfahren bei Befestigung der seeseitigen Dossirungen der wandernden Dünen. Hieraus ergiebt sich, dafs er am obern Rande dieser Dossirung, also auf der Krone der Düne, einen Dielenzaun errichtete, der jedoch mit 1 Zoll weit geöffneten Fugen versehn war. Die Zaunpfähle sind, wie er sagt, 8 Fufs lang und werden in Entfernungen von 15 Fufs eingegraben. Daran werden drei bis fünf Stück sogenannte Schwarten, oder die äufsern Dielen, die aus runden Sägeblöcken geschnitten sind, mit hölzernen Nägeln befestigt. Dieser Zaun dient theils zum Auffangen des dagegen treibenden Sandes, und theils zum Abhalten des Viehs. Wenn er beinahe ganz verweht ist, so wird er gehoben, und zu diesem Zweck sind die Pfähle ohnfern ihrer Köpfe mit weiten Kerben versehn, in welche Wuchtbäume eingreifen. Drei Mann heben solchen Zaun mit Leichtigkeit aus dem Sande und zwar ohne dafs die Dielen sich lösen oder zerbrechen, da diese auf grofse Länge frei liegen, also sehr biegsam sind.

Die ganze zu befestigende Fläche wird demnächst zu beiden

*) „Ueber die beste Art, der allmähligen Versandung der Nehrung durch Dünenbau und Bepflanzung möglichst vorzubeugen," in der Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten die Baukunst betreffend. 1798. II. Seite 81 ff.

Seiten, so wie auch neben den unregelmäſsigen Vordünen mit einem Strauchzaun eingeschlossen. Nach der beigefügten Figur verfolgt dieser Zaun so vollständig den Fuſs der Dünenhügel neben dem Strande, daſs er an einer Stelle sogar mit einer scharfen Ecke bis an den letztern herantritt. Derselbe dient wieder theils zum Abhalten des Viehs, und theils zum Auffangen des von der einen oder andern Seite anwehenden Sandes. Von der Darstellung einer regelmäſsigen und ununterbrochenen Vordüne ist in dieser Beschreibung nicht die Rede, Biörn stellte sich vielmehr dabei nur die Aufgabe, die sanft geneigte kahle Sandfläche, die vom Fuſs der Vordüne bis zum Kamm der Hauptdüne ansteigt, zu befestigen und zwar in derjenigen Umgrenzung, die sie zufällig beim Beginn der Arbeit hat.

Zu dieser Befestigung werden sehr verschiedne Mittel angewendet. Besondres Gewicht wird in jener Beschreibung auf den sogenannten Sturmzaun gelegt, der nach der Zeichnung parallel zum obern Dielenzaun etwa 25 Ruthen von demselben entfernt ist. An leichte Zaunpfähle werden drei aus Schwartdielen gespaltene Latten genagelt, und Erlenstrauch von 8 bis 9 Fuſs Länge mit den Stammenden daneben eingegraben und zwischen den Latten hindurchgeflochten, jedoch in der Art, daſs keineswegs eine dichte Wand sich bildet, vielmehr der Sand noch durchtreiben kann. Diese Sturmzäune sollen den antreibenden Sand gleichmäſsig über die ganze Fläche verbreiten, indem der Sand durch sie, wie durch ein Sieb frei hindurchgeht, also keine neue Düne sich daneben ausbildet. Die in der beigefügten Zeichnung zu beiden Seiten angebrachten Schraffirungen lassen indessen vermuthen, daſs sich darüber wirklich ein Sandrücken ablagerte.

Demnächst sind Strauchzäune ausgeführt, die auch Fangezäune genannt werden und die etwa in 12 Ruthen Abstand von einander dem Gefälle der Fläche folgen und vom Kamm bis zur Tiefe herabführen. Sie lassen indessen neben dem Dielenzaun, so wie auch zu beiden Seiten des Sturmzauns freie Gänge von 1 bis 3 Ruthen Breite. Endlich werden in den tiefern Stellen, die man erhöhen will, noch kurze Strauchzäune angebracht, die sich kreuzweise durchschneiden, die also den von allen Seiten gegentreibenden Sand auffangen sollen.

Was die Anpflanzungen betrifft, so werden neben dem Dielenzaun und zu beiden Seiten der Strauchzäune lebendige Hecken gestellt, und die freien Räume zwischen den letztern mit Strandgräsern bepflanzt. In den tiefsten Theilen der eingeschlossenen Fläche, also in der Nähe der Vordünen, werden dagegen Gräser angesät.

Wenn die Beschreibung und Zeichnung dieser Anlagen auch keineswegs ganz klar ist, und der Verfasser, wie es scheint, die verschiedenen Methoden, die er vielleicht nur versuchsweise angewendet hatte, hier zusammenstellt, so ergiebt sich doch daraus, dafs die flache seeseitige Dossirung der Düne dadurch so festgelegt wird, dafs ihre Oberfläche nicht mehr ein Spiel des Windes bleibt, also das Vorschreiten der Düne dadurch wirklich verhindert wird. Ohne Zweifel wird hierdurch auch mit der Zeit eine feste Benarbung des Bodens herbeigeführt, die aber in Betreff des von der See her neu hinzutretenden Sandes doch immer bedroht bleibt, denn auf die gleichmäfsige Verbreitung desselben über die ganze Fläche ist in sofern nicht zu rechnen, als die Weiden- und eben so auch die Graspflanzungen, welche von dem auftreibenden Sande zuerst getroffen werden, denselben sogleich auffangen, und indem sie kräftig hindurchwachsen, immer neue Ablagerungen, also nichts andres, als neue Dünen bilden. Die dahinter belegenen Flächen behalten dagegen unverändert ihre frühere Höhe bei, und werden nur bei der spätern Zerstörung jener Hügel mit Sand beschüttet. Das von Biörn gewählte Verfahren stellt also mindestens eine sehr kostbare dauernde Unterhaltung in Aussicht, bis mit der Kiefern-Pflanzung vorgegangen werden kann. Es wäre aber noch zu erwähnen, dafs die ganze Anordnung sehr unpassender Weise einer Garten-Anlage mit geschweiften Gängen, weiten Rasenplätzen und terrassenförmigen Steigungen nachgebildet zu sein scheint.

Die Ausführlichkeit vorstehender Beschreibung rechtfertigt sich dadurch, dafs diese Anlagen die ersten Versuche eines methodischen Dünenbaues in Preufsen waren. Die Principien, die ihnen zum Grunde lagen, werden aber vielfach auch heutiges Tages noch als richtig angesehn.

Ob unmittelbar nach der beschriebenen Festlegung der Sandflächen auch die Bepflanzung derselben mit Kiefern versucht

wurde, ist nicht bekannt, jedenfalls hat aber Sören Biörn sich um die Cultur der letztern auf den Dünen verdient gemacht. Eine besondre kleine Schrift*) enthält hierüber, wie über die Erfolge der verschiedenen Verfahrungsarten beim Pflanzen und Aussäen der Kiefern sehr interessante Mittheilungen.

Später wurden die Dünenbauten auf der Danziger Nehrung durch Krause fortgesetzt, der, wie es scheint, nach und nach die Methoden der Ausführung veränderte. Einige Jahre vor seinem Tode hat er dieselben in dem bereits erwähnten Werk ausführlich beschrieben. Dieses ist vorzugsweise in Betreff der Forst-Culturen von Wichtigkeit. Die Resultate, die er erreichte, verdienen ohne Zweifel die vollste Anerkennung, denn jene wandernden Dünen haben, soweit sie früher Besorgnifs erregten, ihren gefährlichen Charakter verloren, indem sie, wenn auch nicht mit Waldung oder festem Rasen überzogen, doch soweit benarbt sind, dafs bei den heftigsten Stürmen nur unbedeutende Sandmassen davon gelöst und auch diese auf der Düne selbst wieder aufgefangen werden. Ein grofser Theil des Dünenterrains ist aber bepflanzt und in Kiefernschonung verwandelt, und dieses ist nicht nur auf den niedrigeren Flächen, sondern zum Theil auch auf bedeutenden Höhen geschehn.

Die Wichtigkeit der Vordünen wird von Krause anerkannt, und derselbe spricht sich auch dahin aus, dafs sie ohne Lücke den Strand begrenzen und mit Dünengras bepflanzt werden sollen. Ihre gleichmäfsige Ausbildung berührt er aber nicht, und diese vermifst man in der That, wenn man den dortigen Strand bereist. Nach seinen Mittheilungen schliefsen die künstlichen Vordünen nur die Oeffnungen oder Intervalle zwischen den natürlichen Dünen, die sich nicht selten als steile Kuppen erheben, und daher, wenn sie auch bepflanzt sind, nicht als hinreichend gesichert angesehn werden können. Aufserdem verlangt er, dafs die Vordüne sich über den Strand steil erheben soll. Ohne Zweifel hat ihre äufsere Böschung jedesmal eine stärkere Neigung gegen den Horizont, als der Strand selbst; wenn man aber den letztern gehörig ausbilden und erstere gegen den Wellenschlag

*) Ueber die vortheilhafteste Behandlungs-Methode bei Besamung und Bepflanzung der Kiefern, von Sören Biörn. Danzig 1807.

sichern will, so ist es nothwendig, dafs ein steiles Ansteigen derselben vermieden wird.

Was die Befestigung der flachen Dossirung der wandernden oder der Hauptdüne betrifft, so sagt Krause, dafs man dazu nur Anpflanzungen von Strandhafer wählen solle. Ob dieses auf der Danziger Nehrung wirklich immer geschehn, ist wohl zu bezweifeln. Die ursprünglichen Pflanzungen sind nicht mehr zu erkennen. Man sieht indessen zwischen dem Dünengras, das hier noch vielfach vegetirt, auch häufig Weidengebüsche. Der Sand wird aber vorzugsweise durch Sandegge (carex arenaria) gebunden, deren weit verzweigte Ranken die ganze Fläche überzogen haben.

Als ich vor vierzig Jahren diese Arbeiten und Pflanzungen auf den weit ausgedehnten flachen Dossirungen der höchsten Dünen sah, erweckten sie keineswegs die Hoffnung, dafs die beabsichtigten Erfolge sich bald zeigen würden. Die grofsen Flächen waren durch Reihen-Pflanzungen von Strandhafer in 4 bis 6 Fufs Entfernung, und zwar in zwei Richtungen, die sich rechtwinklig durchschnitten, überzogen, so dafs sie wie mit einem grofsen Netz überdeckt erschienen. Man hatte indessen dabei keineswegs nur Dünengras, sondern sehr häufig auch Weidenstecklinge gewählt, die also lebendige Hecken bilden sollten. Der Sand war allerdings genügend befestigt, so lange diese Pflanzungen gehörig unterhalten wurden, aber einen frischen Wachsthum bemerkte man nur neben solchen Stellen, wo jene Reihen zufällig durchbrochen waren, und der dabei gelöste Sand das Gras oder das niedrige Strauch etwas beschüttet hatte. Die Weidenarten, die in solchem trocknen Sandboden fortkommen, und eben so auch der Sandhafer, wachsen, wie schon oben bemerkt, nur in dem Fall üppig, wenn frischer Sand hinzufliegt, der durch sie aufgefangen wird. Dieses geschah hier im Allgemeinen nicht und sollte auch nicht geschehn, woher diese Pflanzen nirgend einen frischen Wuchs zeigten, vielmehr langsam abzusterben schienen. Dafs vielfache Nachpflanzungen in jener Zeit ausgeführt waren, liefs sich leicht erkennen, und indem nur selten eine naturwüchsige Vegetation dazwischen sich zeigte, vielmehr die einzelnen Felder mit wenig Ausnahme ganz kahl waren, so dürften wohl viele Jahre vergangen sein, ehe die grofsen und

kostbaren Nachbesserungen endlich sich verminderten. Die steifen, vom Winde eingeknickten Blätter des Sandhafers hatten überdiefs in den freien Feldern daneben überall die tiefen kreisförmigen Furchen im Sande gezogen, und dadurch gewifs noch mehr das Aufkommen einer natürlichen Vegetation verhindert.

Unter diesen Umständen rechtfertigt sich gewifs der Zweifel, ob es überhaupt zweckmäfsig ist, unter solchen Umständen, wo ein gedeihliches Aufkommen und die weitere Verbreitung der Gräser und Sträuche unmöglich ist, überhaupt eine Pflanzung auszuführen. Die Erfahrung hat diesen Zweifel in sofern bestätigt, als die Fläche gegenwärtig keineswegs durch die vereinzelt noch vegetirenden Dünengräser, und eben so wenig durch das Weidengebüsch, das man hin und wieder sieht, vielmehr allein durch die Sandegge, die sich von selbst eingefunden hat, gehalten wird. Aufser ihr sieht man vielfach auch noch die oben erwähnten andern Strandpflanzen, doch ist die Anzahl derselben vergleichungsweise so unbedeutend, dafs sie in dieser Beziehung ohne Einflufs sind. Todte Zäunungen würden hiernach genau denselben, und wegen der nachtheiligen Wirkungen der langen Blätter des Dünengrases sogar noch bessere Resultate ergeben haben. Es fragt sich daher, ob Pflanzungen oder Zäunungen in der Anlage und Unterhaltung wohlfeiler waren. Man darf aber nicht an kostbare hohe Zäune, sondern nur an solche denken, die etwa 1 Fufs über den Boden vortreten, also nur jene Graspflanzungen ersetzen. Das kürzeste Strauch und vielleicht selbst die abgemähten Blätter und Halme des Dünengrases könnten hierzu benutzt werden.

Was die sonstigen Dünen-Culturen betrifft, so darf man dabei die Thatsache nicht unbeachtet lassen, dafs die heftigsten Winde jedesmal die Seewinde sind, weil sie mit ungeschwächter Kraft den Strand und die Dünen treffen. Der gelöste Sand bewegt sich daher vorzugsweise landeinwärts, eben so fliegt aber auch der Same von den Bäumen oder von andern Pflanzen in derselben Richtung, oder die Vegetation dehnt sich am schnellsten von der Seeseite nach dem Binnenlande aus. Man mufs daher, soweit andre dringende Rücksichten nicht vorliegen, wie etwa die schleunige Befestigung der wandernden Dünen, die Arbeiten jedesmal möglichst weit seewärts, also unmittelbar

hinter der künstlichen Vordüne beginnen, vorausgesetzt, dafs diese sich bereits so hoch erhoben hat, dafs das Uebertreten der Wellen nicht mehr zu besorgen ist.

Von grofser Bedeutung ist es, dem Sandfluge möglichst vollständig Einhalt zu thun; hierzu genügt aber nicht nur die Ausbildung und Bepflanzung der Vordüne, denn auch hinter derselben befinden sich gemeinhin einzelne hohe Kuppen, die, wenn sie für den Augenblick auch hinreichend befestigt erscheinen, doch durch den Wind leicht angegriffen und zerstört werden können, wobei grofse Sandmassen landeinwärts fliegen. Hierdurch könnten spätere Culturen leicht zerstört werden, daher empfiehlt es sich vor Ausführung derselben, diese Kuppen, soweit sie gefährlich sind, zu beseitigen. In welcher Weise dieses mit geringer Nachhülfe geschehn kann, ist bereits bei Gelegenheit der Vordünen erwähnt worden. In diesem Fall wird man sich aber meist damit begnügen dürfen, die vorragenden Flächen im Herbst von aller Vegetation zu entblöfsen, und die Zweige oder Wurzeln möglichst tief zu beseitigen. Die Winterstürme treiben alsdann den kahlen Sand fort, den man durch Zäunungen an tieferen Stellen auffangen und ziemlich gleichmäfsig ablagern kann. Jedenfalls mufs aber dafür gesorgt werden, dafs nicht neue Hügel sich bilden, und wenn dieses, nachdem die Vordüne dargestellt ist, auch weniger leicht geschieht, so können dennoch gefährliche Kuppen nach und nach emporwachsen. Veranlassung giebt hierzu fast jedesmal ein Weidenstrauch. Solches mufs daher, wo es stark anwächst und den Sand auffängt, beseitigt werden. Die Weide ist aber überhaupt einer geregelten Dünen-Cultur niemals förderlich, sie giebt vielmehr nur zu Unregelmäfsigkeiten Veranlassung, ohne dafs eine Benarbung des Bodens neben ihr eintritt. Es empfiehlt sich daher, soweit es ohne zu grofse Kosten geschehn kann, sie in dem Dünenterrain ganz zu beseitigen.

Was die Anpflanzung von Bäumen und Gesträuchen betrifft, so mag darüber nur bemerkt werden, dafs in den Niederungen unmittelbar hinter der künstlichen Vordüne oft schon sehr erwünschte Gelegenheit hierzu sich bietet. Vorzugsweise gedeiht hier die Eller oder die Else, und zwar eben sowol die gewöhnliche, wie die weifse. Sie gedeiht auch, wenn der Boden noch

so tief liegt, dafs er beim Anschwellen der See zur Zeit heftiger Stürme durch Grundwasser inundirt wird. Ein sehr grofser Vorzug derselben vor andern Baumgattungen besteht darin, dafs schon in dem ersten Sommer rings um die jungen Stämme der Boden sich mit Sandegge zu überziehn pflegt. Auch Birken, Pappeln und Espen gedeihen hier, aber doch weniger schnell und kräftig, als die Else, und der Boden neben diesen Bäumen pflegt viel länger kahl zu bleiben.

Solche Culturen, die in der Tiefe begonnen werden, dehnen sich leicht von selbst landeinwärts aus, namentlich wenn sie soweit angewachsen sind, dafs sie Samen tragen. Hierbei tritt aber noch der günstige Umstand ein, dafs sie einen kräftigen Schutz den dahinter belegenen Flächen bieten. Das in Fig. 81 dargestellte Profil der Frischen Nehrung bei Grofs-Bruch läfst an der Höhe des Gebüsches am Fufs der ersten Düne erkennen, wie die Pflanzung sich landwärts ausdehnt, dieses geschah hier ohne irgend eine künstliche Beihülfe. Bei Befestigung der wandernden Dünen ist aber die Anpflanzung von Sträuchern vor ihrem Fufs von der äufsersten Wichtigkeit, weil dadurch nicht nur die Kraft des Windes gemäfsigt, sondern auch der untere Theil der Dossirung gedeckt, also der Sandflug, der das Fortschreiten der Düne veranlafst, gemäfsigt und schliefslich ganz unterbrochen wird.

Zur Bepflanzung der höheren Theile der Dünen eignet sich in unserm Klima wohl allein die Kiefer, mit der die ältern Dünen sich auch von selbst überzogen haben, sobald sie vor dem Hinzutreten neuer Sandmassen gesichert waren. Dieser Gegenstand gehört indessen unbedingt der Forstwirthschaft an, woher er hier übergangen wird.

§ 28.

Wirkung des Windes auf den Sand.

Im Vorstehenden ist vielfach von der Einwirkung des Windes auf den trocknen Seesand die Rede gewesen, und es sind Erfahrungen darüber mitgetheilt, wie letzterer in Bewegung gesetzt und oft weit fortgetrieben wird, so wie auch, unter welchen Ver-

hältnissen diese Bewegung aufhört und der Sand sich ablagert. Obwohl diese Erscheinungen an sich keineswegs befremdend sein können, so dürfte es doch nöthig sein, den Zusammenhang derselben mit bekannten Gesetzen noch näher nachzuweisen.

Ich habe in dieser Beziehung eine Reihe von Beobachtungen angestellt, indem ich in den Luftstrom, der aus einem Blasebalg austrat, feinen trocknen Sand hineinfliefsen liefs. Letzterer wurde von der Luft erfafst und horizontal fortgeführt, bis er sich auf ein dahinter liegendes Reifsbrett, das in beiden Richtungen durch Parallel-Linien von 1 Zoll Abstand eingetheilt war, ablagerte. Diese Ablagerung konnte also ihrer Form nach sehr leicht bestimmt werden, und indem ich sowol dichte, als durchbrochene senkrechte Wände, theils normal gegen den Luftstrom, theils unter verschiedenen Richtungen gegen denselben aufstellte, so ergaben sich Erscheinungen, die mit den oben angeführten nahe übereinstimmten, und deren Einzelheiten sich, wenn auch nur mit mäfsiger Schärfe, doch messen und in bestimmten Zahlenwerthen angeben liefsen. Diese Sandablagerungen sind, mit einem Pantographen übertragen, auf Taf. XIV dargestellt. Bevor jedoch zur nähern Betrachtung derselben übergegangen werden kann, mufs auf einen wesentlichen Unterschied zwischen diesem Experiment im Kleinen und der Erscheinung im Grofsen aufmerksam gemacht werden.

Der Wind, der den Sand an der Meeresküste in Bewegung setzt, ist, wenn auch jederzeit dabei gewisse, und oft sehr auffallende Verschiedenheiten in der Richtung und Stärke an einzelnen Stellen vorkommen, doch eine allgemeine Strömung, die in grofser Breite und mit nahe gleicher Geschwindigkeit weit ausgedehnte Flächen trifft. Die Wirkungen, die er ausübt, werden daher bei gleicher Beschaffenheit des Bodens und der darauf befindlichen Gegenstände an den verschiedenen Stellen dieselben sein, auch vermindert sich die Geschwindigkeit nicht dadurch, dafs andre Luftmassen, die ursprünglich an der Bewegung nicht Theil nahmen, von derselben mit erfafst werden und sonach wegen der gröfsern Masse, die in Bewegung gesetzt wird, die Geschwindigkeit sich vermindert. Dieses geschieht nicht, weil die gesammte Luft, welche eine gröfsere Fläche überdeckt, schon

in der Strömung begriffen ist. Ihr Moment ist auch so grofs, dafs der Widerstand, den sie auf den Unebenheiten der Erdbodens erfährt, sie nur in geringem Maafse schwächt, und selbst bei Betrachtung kleinerer Theile, wie etwa einzelner Dünen, diese Verzögerung unbeachtet bleiben darf.

In den Versuchen konnte dagegen nur ein feiner Luftstrahl dargestellt werden, der durch die umgebende ruhende Luft hindurchdrang. Die Erscheinungen, die beobachtet werden sollten, konnten daher nur in der Breite dieses Strahls wahrgenommen werden. Derselbe theilte aber seine Bewegung der umgebenden Luft mit, er nahm daher zwar sehr merklich an Breite zu, indem er aber immer aufs Neue ruhende Massen mit sich fortrifs, so schwächte er sich so sehr, dafs er in der Entfernung von 3 bis 4 Fufs schon aufhörte, oder wenigstens seine Geschwindigkeit unmefsbar klein wurde.

Um die beobachtete Einwirkung auf den Sand richtig beurtheilen zu können, mufste dieser Strahl selbst untersucht werden. Durch eine $1/2$ Zoll weite Bleiröhre wurde die aus dem Blasebalg austretende Luft geführt. Diese Röhre war am Ende durch eine dünne und vertikale Metallplatte geschlossen, worin sich in der Höhe von 0,7 Zoll über dem Reifsbrett die feine Ausflufsöffnung befand. Letztere hielt 0,153 Zoll im Durchmesser. Bei der gewählten Belastung des Blasebalgs, die in allen Messungen unverändert dieselbe blieb, zeigte ein Manometer, das ohnfern der Ausflufsöffnung an die Bleiröhre angekittet war, den Druck gleich einer Wassersäule von 1,18 Zoll. Auf den Quadratzoll betrug der Druck also 21,08 Gramme.

Die Richtung der Bewegung liefs sich durch kleine Fähnchen aus dünnem Blech, oder bei schwächerer Strömung auch durch Fähnchen aus Papier, die auf einer Nadelspitze schwebten, leicht erkennen. Wenn aber das Papierblättchen horizontal gerichtet war und wieder durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht gehalten wurde, während es auf einer feinen horizontalen Nadel ruhte, und sich um letztere drehn konnte, so zeigte es auch schwache aufwärts gerichtete Strömungen an, deren Neigung gegen den Horizont sich jedoch nicht sicher ermitteln liefs, weil die Breite dieser Ströme meist sehr geringe war.

Um die Mittellinie des Luftstrahls sicher bestimmen und

hiernach das Reifsbrett genau einstellen zu können, wurde noch ein andrer kleiner Apparat, nämlich ein Flügelrad, benutzt, das für diesen Zweck sich besonders brauchbar erwies. Eine feine Nähnadel stand mit ihrer Spitze in der Vertiefung einer Messingscheibe, während ein darüber angebrachter Steg sie so hielt, dafs sie sich mit der geringsten Reibung um ihre vertikale Achse drehn konnte. Sie trug in ihrer Mitte eine horizontale Papierscheibe von 0,6 Zoll Durchmesser, an welche in radialer Richtung sechs kleine Flügel von Papier befestigt waren. Wenn man dieses Instrument in den Luftstrahl stellte, so drehte es sich in derjenigen Richtung, in der es von dem stärkern Strom getroffen wurde, die Drehung, die immer sehr heftig war, hörte aber auf, sobald die Nadel in der Achse oder der Mittellinie des Strahls stand. Hier waren die beiderseitigen Einwirkungen gleich grofs, es erfolgte daher Ruhe, oder vielmehr es traten abwechselnd schwache Drehungen nach der einen und der andern Seite ein.

Die Geschwindigkeit der Strömung mit einiger Sicherheit zu messen, gelang mir nicht, in sofern die hierzu dienenden Apparate jedenfalls so klein sein mufsten, dafs sie nur solche Strahlen umfafsten, in denen die Geschwindigkeit nicht gar zu verschieden war. Zwischen schraubenförmig abgeschnittenen kleinen Prägewerken aus hartem Holz liefsen sich wohl in sehr dünnem Messingblech Flügelscheiben von 1 Zoll Durchmesser darstellen, aber die Anbringung der Vorrichtung zum Zählen der Umdrehungen, wie bei dem Woltman'schen Flügel, war wegen der nothwendigen leichten Beweglichkeit und noch mehr wegen der eben so nothwendigen Beschränkung auf einen sehr kleinen Raum unmöglich. Die letzte Bedingung durfte aber nicht unbeachtet bleiben, weil sonst der Apparat die Strömung wesentlich verändert und sonach zu unpassenden Resultaten geführt haben würde.

Diese Messung liefs sich indessen dadurch ersetzen, dafs der Druck der strömenden Luft auf eine kleine Scheibe beobachtet wurde. Hierzu bediente ich mich der Bifilar-Waage. Indem dieselbe wenig bekannt ist und gewifs auch in der Hydrodynamik mit grofsem Nutzen vielfach angewendet werden kann, so dürfte es nicht unpassend sein, sie hier zu beschreiben und ihre Anwendung nachzuweisen.

Die Figuren 91 *a* und *b* zeigen diesen Apparat in der Ansicht von der Seite und von oben, und zwar in seiner halben Gröfse. Eine starke Messingscheibe trägt in ihrer Mitte eine cylindrische Stange, um welche der untere bewegliche Arm sich dreht, an welcher er auch zugleich, indem er sie umfafst, sich etwas erheben oder senken kann. Dieser Arm hängt an zwei gleich langen und gleich weit von der Achse entfernten möglichst leichten, also sehr feinen Seidenfäden. Letztere sind an einen andern Arm befestigt, der mittelst einer Schraube so eingestellt werden kann, dafs der untere Arm, bevor er dem zu messenden horizontalen Druck ausgesetzt wird, nahe über der Scheibe schwebt und zugleich auf den Nullpunkt der Gradeintheilung einspielt, welche auf einem Quadranten der Scheibe angebracht ist. Der bewegliche Arm trägt an dem andern, dem Zeiger entgegengesetzten, Ende die kleine Papierscheibe, gegen welche der Druck der Luft gemessen werden sollte. Dieselbe war einen halben Zoll breit und eben so hoch. Ein daran aufgekittetes Stückchen Kork, welches das Ende des Arms umfafste, diente zur Befestigung der Scheibe an den letztern. Damit der Arm selbst von dem Luftstrome möglichst wenig getroffen würde, war er sehr dünn ausgefeilt und zugleich mit einer Zuschärfung versehn. Die Papierscheibe stand lothrecht und in solcher Richtung, dafs die durch sie gelegte Ebene die Achse des Instruments traf. Endlich wäre zu bemerken, dafs dieser Arm so ausgeschnitten wurde, dafs sein Schwerpunkt, nachdem die Scheibe daran befestigt war, in die Mitte der kreisförmigen Oeffnung fiel, womit er die cylindrische Achse umfafste.

Hieraus ergiebt sich schon die Anwendung des Apparats. Sobald nämlich die Papierscheibe von dem horizontalen Luftstrom getroffen wird, so dreht sich der untere Arm um die Achse, und indem die Fäden immer sehr nahe in gleicher Weise gespannt bleiben, so verändern sie nicht ihre Länge. Der untre Arm mufs daher, sobald er gedreht wird, sich etwas heben, und wenn man die Dimensionen und das Gewicht der betreffenden Theile des Apparats ermittelt hat, so findet man leicht die Beziehung zwischen dem horizontalen Druck, dem die Scheibe ausgesetzt wird, und dem Winkel, um welchen der Arm sich dreht. Damit aber der Druck die Scheibe stets normal trifft, auch letztere an derjenigen

Stelle bleibt, wo man den Druck messen will, so mufs man während der Beobachtung das ganze Instrument soweit drehn, bis diese Bedingungen erfüllt sind. Es ist daher vortheilhaft, eine Unterlagsscheibe mit einem niedrigen kreisförmigen Rande zu benutzen, wodurch die Drehung leicht auszuführen ist, ohne dafs die Achse ihre Stelle verändert. Die Unterlagsscheibe war bei meinen Messungen schon deshalb nothwendig, um die Papierscheibe in die Höhe der Achse des Luftstroms zu bringen. Man benutzt dieses Instrument oft in der Art, dafs der untere Arm nur an den beiden Fäden hängt, nicht aber zugleich noch durch die cylindrische Achse gehalten wird. In solchem Fall müssen jedoch beide Enden dieses Arms übereinstimmenden Pressungen ausgesetzt werden, weil sonst starke Schwankungen einzutreten pflegen. Letztere fehlten auch bei der hier dargestellten Einrichtung keineswegs ganz, aber eben deshalb durfte die geringe Reibung, welche die feste Achse veranlafst, unbeachtet bleiben.

Die Beziehung zwischen dem gegen die Papierscheibe ausgeübten Horizontal-Druck und dem Winkel, unter welchem der untere Arm seine Stellung verändert, läfst sich leicht nachweisen. In Fig. 92 sei DBA der untere Arm in seiner ursprünglichen Lage, also bevor die Kraft darauf einwirkte; dieselbe Linie stellt sonach auch den obern festen Arm dar. Die vertikale Drehungs-Achse befinde sich in C und der untere Arm habe sich in Folge des gegen den Angriffspunkt D' ausgeübten Normaldrucks P bis $D'B'A'$, also um den Winkel φ gedreht. Die beiden Fäden seien sowol oben wie unten in dem Abstande $= a$ von der Achse an die beiden Arme befestigt, und die Länge jedes Fadens sei l. Ferner sei der Abstand des Angriffspunkts der Kraft P von der Achse gleich b und das Gewicht des beweglichen Arms mit Einschlufs der Papierscheibe gleich G.

Wenn der untere Arm in der angegebenen Weise sich gedreht hat, so behalten die beiden Fäden nicht mehr ihre lothrechte Stellung bei, sondern sind schräge gerichtet, so dafs sie bei der Projection auf den Horizont in die geraden Linien AA' und BB' fallen. Die Spannung jedes dieser beiden Fäden, die gleich S sei, zerlege man in drei rechtwinklig gegen einander wirkende Kräfte, nämlich

1. nach der Längenrichtung des Arms. Diese Kraft ist der Linie $B'E$ proportional, wenn BE senkrecht gegen $D'A'$ gezogen wird, also gleich

$$\frac{a\,(1 - \operatorname{Cos}\varphi)}{l} \,.\, S$$

2. nach derjenigen Horizontalen, welche den Arm normal trifft, also BE. Diese ist gleich

$$\frac{a \operatorname{Sin}\varphi}{l} \,.\, S$$

3. endlich nach der Vertikalen. Der Werth derselben ergiebt sich gleich

$$\frac{1}{l}\sqrt{(l^2 - B'E^2 - BE^2)} \,.\, S$$

oder durch Einführung von a und φ

$$= \sqrt{\left[1 - 2\,\frac{a^2}{l^2}\left(1 - \operatorname{Cos}\varphi\right)\right]} \,.\, S$$

$$= \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2}\varphi\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} . \, S$$

Die letzte oder die vertikale Spannung und zwar in beiden Fäden hält dem Gewicht des untern Arms das Gleichgewicht. Man hat also

$$\tfrac{1}{2}\, G = \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2}\varphi\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} . \, S$$

oder

$$S = \tfrac{1}{2}\left[1 - \left(\frac{2a}{l} \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2}\varphi\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} . \, G$$

Hieraus läfst sich die Spannung der Fäden berechnen, und wenn man den Werth derselben in den unter 2. angegebenen Ausdruck für die horizontale, normal gegen den Arm gerichtete Componente, die mit K bezeichnet werden mag, einführt, so ergiebt sich

$$K = \frac{a}{2l} \operatorname{Sin}\varphi \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2}\varphi\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} . \, G$$

Diese Spannung tritt in gleichem Sinn in beiden Fäden ein, indem beide die Tendenz haben, den Arm in seine ursprüngliche Stellung zurückzudrehn. Sie wirkt aber gleichmäfsig in der ganzen Länge der Fäden und trifft daher den Arm in den

Punkten B' und A', also in dem Abstande a von der Achse. Ihr Moment ist demnach gleich

$$2aK$$

wogegen das Moment des Drucks

$$bP$$

ist. Beide halten sich wieder das Gleichgewicht, woher

$$P = \frac{2a}{l} . K$$

$$= \frac{a^2}{bl} \operatorname{Sin} \varphi \left[1 - \left(\frac{2a}{l} \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2} \varphi\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} . G$$

Die unter 1. bezeichnete Componente der Spannung, nämlich in der Längenrichtung des Arms, ist bei dieser Untersuchung nicht weiter in Betracht gekommen, man überzeugt sich auch leicht, dafs diese Pressungen in beiden Fäden einander gleich, aber sich direct entgegengesetzt sind, woher sie sich gegenseitig aufheben.

In dem von mir benutzten Instrumente war

$$a = 0{,}635 \text{ Zoll}$$
$$l = 5{,}20 \text{ Zoll}$$
$$b = 2{,}85 \text{ Zoll}$$
und $G = 3{,}861$ Gramme.

Mit den beschriebenen Apparaten wurde nun der Luftstrom untersucht, bevor seine Wirkungen auf den Sand beobachtet wurden. Dieser Strom trat aus der Zuleitungsröhre horizontal aus, weil die sehr dünne Blechscheibe, worin die Ausflufsmündung sich befand, in vertikale Richtung gebracht war. Es gab sich auch aus keiner Erscheinung eine Neigung des Strahls gegen den Horizont zu erkennen. Das Reifsbrett mit den darauf gezogenen netzförmigen Linien wurde so gelegt, dafs die Mittellinie genau in die Richtung des Strahls fiel. Zur richtigen Einstellung derselben konnten nicht sowol die kleinen Fähnchen, die immer stark schwankten, als vielmehr das bereits beschriebene Flügelrädchen benutzt werden.

Die Wirkung des Luftstroms liefs sich an den Fähnchen noch in dem Abstande von 3 Fufs erkennen, während die Bifilar-Waage schon in der Entfernung von $2\frac{1}{4}$ Fufs von der Ausflufsöffnung nur etwa um 1 Grad ausschlug. Zunächst kam es darauf an, zu untersuchen, in welchem Maafse die Stärke des

S t r o m s, und zwar in seiner Achse gemessen, bei zunehmender Entfernung sich vermindert.

Nach der Bezeichnung auf dem Reifsbrett traf die Ausflufsöffnung auf 1,45 Zoll der Theilung, und in den nachstehend angegebenen Punkten x derselben Theilung wurden mittelst der Bifilar-Waage die Pressungen gemessen, deren Werthe, auf ein Quadratzoll reducirt, mit P bezeichnet sind. Ich fand im Mittel aus mehrfachen Wiederholungen die folgenden Pressungen:

für $x =$ 8 Zoll	$P =$ 0,321 Gramme
$=$ 10	$=$ 0,217
$=$ 12	$=$ 0,175
$=$ 14	$=$ 0,128
$=$ 16	$=$ 0,101
$=$ 18	$=$ 0,080
$=$ 20	$=$ 0,065
$=$ 22	$=$ 0,044
$=$ 24	$=$ 0,036

Um die A b n a h m e d e s D r u c k s b e i w a c h s e n d e r E n t f e r n u n g, oder die Beziehung zwischen P und x zu ermitteln, benutzte ich zunächst die erste und letzte Beobachtung, indem ich einen Ausdruck

$$P = \alpha \,.\, s^z$$

zum Grunde legte, wo s den Abstand der Papierscheibe von der Ausflussöffnung, also

$$s = x - 1{,}45$$

bedeutet. Hieraus ergab sich

$$z = -1{,}8,$$

die Pressungen sind also nahe den Quadraten der Abstände umgekehrt proportional.

Ich erwähne sogleich, dafs ich bei gleichmäfsiger Berücksichtigung der sämmtlichen Beobachtungen, also bei Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate, vielfache Versuche machte, eine bessere Uebereinstimmung dadurch herbeizuführen, dafs ich den Ausdruck

$$P = \alpha s^{-2} + \beta s^z$$

zum Grunde legte, und den positiven oder negativen Werth von z suchte. Dieser Versuch gelang mir indessen nicht. Wenn ich aber

$$s = x + y$$

setzte, also gleichzeitig den Abstand s noch um eine constante Gröfse vermehrte oder verminderte, so stellte sich für den gesuchten Exponent z eine sehr grosse Zahl und zwar mit negativem Zeichen heraus. Das zweite Glied verschwand also, und die Beobachtungen stellten sich ziemlich genau dar, wenn die Form

$$P = \alpha \, (x + y)^{-2}$$

gewählt wurde. Hiernach hat man

$$(x + y) \sqrt{P} = \sqrt{\alpha}$$

$$o = x \sqrt{P} - \sqrt{\alpha} + y \sqrt{P}$$

Dieser Ausdruck entspricht demjenigen, der zur Auffindung zweier Constanten nach der Methode der kleinsten Quadrate benutzt wird: *)

Man findet hiernach

$$\sqrt{\alpha} = 4{,}978$$

$$\alpha = 24{,}786$$

und $y = + 0{,}364$

Die wahrscheinlichen Fehler in diesen Bestimmungen sind

für $\sqrt{\alpha}$ ... 0,181

und für y 0,050

Der wahrscheinliche Fehler von α ergiebt sich gleich 1,801.

Beide Gröfsen sind also mit sehr bedeutenden wahrscheinlichen Fehlern behaftet, wie dieses auch nicht anders sein kann, da die Waage wegen des anhaltenden Schwankens kaum bis auf 1 Grad sicher abzulesen war. Zur Vergleichung der gemessenen und berechneten Werthe von P mögen noch beide zusammengestellt werden.

	beobachtet	berechnet
für $x =$ 8	$P =$ 0,321	$P =$ 0,355
= 10	= 0,217	= 0,231
= 12	= 0,175	= 0,162
= 14	= 0,128	= 0,120
= 16	= 0,101	= 0,093

*) Grundzüge der Wahrscheinlichkeits-Rechnung von G. Hagen. weite Ausgabe. Berlin 1867. § 17.

	beobachtet	berechnet
= 18	= 0,080	= 0,074
= 20	= 0,065	= 0,060
= 22	= 0,044	= 0,050
= 24	= 0,036	= 0,042

Es dürfte auffallen, dafs die Abstände, deren Quadrate den Pressungen umgekehrt proportional sind, von einem Punkte ab gemessen werden sollen, der nach der Theilung auf dem Reifsbrette auf — 0,36 Zoll trifft, also 1,81 Zoll hinter der Ausflufsöffnung liegt. Man wird wohl voraussetzen, dafs der Luftstrahl sich kegelförmig ausbreitet und hierdurch würde sich die Abnahme des Drucks erklären; dafs aber die Spitze des Kegels soweit innerhalb der Röhre liegt, zeigt, dafs eine äufsere Ursache unmittelbar neben der Ausströmungsöffnung wesentlichen Einflufs ausüben und an dieser Stelle die Regelmäfsigkeit der Erscheinung unterbrechen mufs. Man kann aber schon 1 gegen 80 wetten, dafs die Beobachtungen nicht so unrichtig sind, dafs hierdurch sich die Verlegung der Kegelspitze hinter die Ausflufsöffnung erklären liefse. Für das gefundene Resultat ergab sich indessen eine sehr auffallende Bestätigung, als ich in den Luftstrom Sand einfliefsen liefs. Schon die Figuren 83 bis 90 lassen dieses erkennen, doch mufsten diese Beobachtungen immer bald abgebrochen werden, damit nicht bei den höhern Sandablagerungen die verschiedenen Stärken derselben unkenntlich würden. Als ich aber eine längere Zeit hindurch bei fortgesetzter Bewegung des Blasebalgs den Sand dauernd hinzufliefsen liefs, erhielt ich sehr scharf begrenzte Sandablagerungen an beiden Seiten des Luftstroms, deren Grenzen, wenn sie rückwärts verlängert wurden, sich innerhalb der Röhre und zwar etwa 2 Zoll hinter der Auflufsöffnung schnitten. Dieses auf ganz verschiedene Art gefundene Resultat schliefst sich also so genau, wie die mangelhafte Schärfe der Grenzlinien es gestattet, dem der Rechnung an. Die Erscheinung erklärt sich aber ohne Zweifel dadurch, dafs der austretende Strahl die umgebende Luft mit sich fortreifst, und hierdurch sogleich hinter der Oeffnung eine grofse Breite annimmt. Wenn ich eine der kleinen Fahnen seitwärts aufstellte, so gab sich daran auch sogleich zu erkennen, wie die umgebende Luft der Ausflufsöffnung zuströmte.

Hiermit steht noch eine andere Erscheinung in Verbindung, welche bei der ersten Anordnung des Apparats eine grofse Unregelmäfsigkeit in den Sandablagerungen veranlafste. Um nämlich das Gefäfs, woraus der Sand abflofs, in möglichst einfacher Art aufstellen zu können, wurde dieses durch ein Brettchen getragen, welches auf einer Seite neben der Ausflufsöffnung stand, also hier das Zuströmen der Luft in gewissem Grade verhinderte, ohne jedoch den Strahl selbst, wie sehr er sich auch verbreiten mochte, zu berühren. Der Erfolg davon war, dafs die Sandablagerungen auf dieser Seite an die Mittellinie des Strahls auffallend näher herantraten, als an der gegenüber liegenden. Der Strahl konnte also an der Seite, wo der Zutritt der äufsern Luft etwas behindert war, sich nicht so weit ausbreiten, als an der andern. Indem aber auch bei den spätern Beobachtungen eine vollständige Symmetrie in der Umgebung der Ausflufsöffnung sich nicht darstellen liefs, so erklären sich hieraus die geringen Unregelmäfsigkeiten, welche die Zeichnungen nachweisen.

Wenn der Luftdruck nach dem entwickelten Gesetz bis zur Spitze des Kegels zunähme, so würde er in der letzteren 24,786 Gramme betragen, während er am Manometer, das an die Bleiröhre gekittet war, nur gleich 21,08 Gramme gemessen wurde. Die letzte Angabe bezieht sich aber auf den im Blasebalg stattfindenden Druck, und ist nicht etwa dadurch vermindert, dafs dieser Druck in Folge der schwachen Strömung in der Röhre sich schon verringert hatte. Dieses ergab sich daraus, dafs das Manometer während der Wirkung des Blasebalgs unverändert denselben Stand behielt, wenn auch die Ausflufsmündung geschlossen wurde. Unmittelbar vor der Ausflufsmündung würde nach dem aus den Beobachtungen hergeleiteten Gesetz der Druck 7,57 Gramme auf 1 Quadratzoll messen, also nur etwa den dritten Theil des Werths annehmen, den er auf der innern Seite der Scheibe hat. Dieser Unterschied läfst gleichfalls darauf schliefsen, dafs beim Austreten des Strahls aus der Oeffnung derselbe sogleich eine grosse Luftmasse in Bewegung setzt, und dadurch die Intensität des Drucks sich wesentlich vermindert.

Demnächst kam es darauf an, zu untersuchen, in welcher Weise *der Strahl sich verbreitete*. Dafs dieses wirklich geschah, ergab die Bifilar-Waage sehr augenscheinlich. Indem

sie von der Ausströmungsöffnung 3 Zoll entfernt war, bewegte sie sich erst, nachdem ich sie bis auf 0,5 Zoll der Mittellinie des Strahls genähert hatte, im Abstande von 6 Zoll geschah dieses schon bei einer Annäherung von 1,2 Zoll, bei 9 in 1,6 und bei 12 Zoll in 2,4 Zoll Abstand von der Mittellinie. Sehr auffallend zeigten auch die kleinen Fähnchen diese Verbreitung. Nur in der Mittellinie strömte die Luft parallel zur Achse des Strahls, seitwärts von derselben divergirte die Richtung. Die Abweichungen waren indessen immer sehr geringe und nur vorübergehend schlugen die Fähnchen bis auf 12 Grade aus, während sie bei ruhigem Stande nicht mehr, als etwa 6 Grade abwichen. Ohnfern der Grenze der Strömung war die Abweichung gröfser, als in der Nähe der Mittellinie, doch war der Unterschied nicht bedeutend, und im Allgemeinen divergirte die Strömung nur unter dem Winkel von 4 bis 6 Graden gegen die Richtung der Mittellinie.

In diesen Richtungen, welche die Fähnchen angaben, mafs ich auf der Querlinie, die 8½ Zoll vor der Ausflufsöffnung lag, die Pressungen des Luftstroms. Ich fand dieselben

in der Achse . . .	0,22 Gramme
1 Zoll seitwärts .	0,10 -
2 - - .	0,00 -

Auf einer andern Linie, 13½ Zoll von der Ausflufsöffnung entfernt, waren die Pressungen:

in der Achse . .	0,115 Gramme
1 Zoll seitwärts .	0,099 -
2 - - .	0,051 -
3 - - .	0,014 -
4 - - .	0,000 -

Es ergiebt sich hieraus, dafs der Strahl, indem er sich ausbreitet, keineswegs an allen Stellen desselben Querschnittes gleiche Geschwindigkeit hat, diese vielmehr in der Achse am gröfsten ist und nach den Seiten hin sich allmälig vermindert, bis sie endlich ganz verschwindet.

Die vorstehende Untersuchung des Luftstrahls, der zur Darstellung der Sandablageruugen im Kleinen allein benutzt werden konnte, war nothwendig, um die letztern richtig aufzufassen und ihren Zusammenhang mit den grossartigen Erscheinungen am

Meeresstrande und auf den Dünen nachzuweisen. Auf die wesentliche Verschiedenheit zwischen diesem Experiment und den Wirkungen, die der Wind veranlafst, ist bereits aufmerksam gemacht, wenn man aber die so eben entwickelten Eigenthümlichkeiten des isolirten Strahls berücksichtigt, so zeigen dennoch beide eine überraschende Uebereinstimmung, und indem der Versuch im Kleinen sich beliebig abändern und durch alle Abstufungen leicht verfolgen läfst, so führt er zur Erklärung jener grossen Naturerscheinungen und zeigt, wie diese auch in Betreff der Sandablagerungen und der Dünenbildung sich wieder an die allgemeinen Gesetze der Mechanik anschliefsen.

Zu den Beobachtungen, welche sich auf das Treiben des Sandes beziehn, wurde der beschriebene Apparat ganz unverändert beibehalten, weil es darauf ankam, die Wirkungen des Luftstrahls, der in seinen Einzelheiten bereits bekannt war, durch directe Versuche darzustellen. Zunächst entstand die Frage, in welcher Weise der Sand der Einwirkung des Luftstroms am passendsten ausgesetzt werden kann. Eine Veränderung oder Modification des letztern mufste dabei jedenfalls vermieden werden, weil solche zu Sandablagerungen Veranlassung gegeben hätte, die den normalen Erscheinungen fremde gewesen wären. Aus diesem Grunde durfte keine Schüttung neben der Ausflufsmündung vor dem Beginn des Versuchs angebracht werden, die der Strom nach und nach forttreiben sollte. Es blieb nur übrig, den Sand in feinem Strahl auf den Luftstrahl fallen zu lassen. Dieses war leicht zu erreichen, indem ich ein mit Sand gefülltes Gefäfs in geringer Entfernung über dem Zuleitungsrohr aufstellte, und durch eine am Boden angebrachte Oeffnung den Sand ausfliefsen liefs. Es ist bekannt, dafs die Ausströmung des Sandes von der Druckhöhe ganz unabhängig ist und daher sehr gleichmäfsig erfolgt, so lange die Ausflufs-Oeffnung noch nicht frei wird. Aufserdem findet in dem ausfliefsenden Sandstrahl auch eine Contraction statt, deren Coefficient mit dem des Wassers nahe übereinstimmt*), wenn in beiden

*) Die Resultate der Untersuchungen, welche ich über den Druck und das Ausströmen des Sandes früher angestellt habe, sind in den Monats-Berichten der Berliner Academie der Wissenschaften 1852. Sitzung vom 19. Januar, Seite 53 mitgetheilt.

Fällen die Oeffnungen in dünnem Blech angebracht sind. Die Ausflufsöffnung am Boden des mit Sand gefüllten Gefäfses hielt sehr genau 0,10 Zoll im Durchmesser, war also schon an sich kleiner, als diejenige, durch welche die Luft ausströmte, während in Folge der Contraction der Unterschied sich noch vergröfserte.

Sobald der Blasebalg in Bewegung gesetzt war, wurde der herabfallende Sand sehr vollständig von dem Luftstrom erfafst, so dafs nur wenige Körnchen unterhalb der Oeffnung auf das Reifsbrett niederfielen. Dieses geschah jedoch nur, wenn das Sandgefäfs ganz scharf so eingestellt war, dafs beide Strahlen in ihren Mittellinien sich kreuzten. Bei den unvermeidlichen Erschütterungen konnte diese Bedingung nicht immer erfüllt werden, und alsdann erfolgten die Ablagerungen auf dem Reifsbrett nicht mehr symmetrisch, sondern bildeten sich auf derjenigen Seite am stärksten aus, wo der Luftstrahl den meisten Sand auffing, und alsdann wurde auch ein Theil des Sandes gar nicht erfafst und fiel senkrecht herab. Um letztern zu beseitigen und um zugleich den Schieber, der über der Ausflufsöffnung lag, schon vor Beginn der Beobachtung zurückziehn zu können, wurde in das Reifsbrett eine trichterförmige Oeffnung eingeschnitten, welche allen Sand, der senkrecht herabfiel, auffing und in ein darunter stehendes Gefäfs leitete. Der erwähnte Schieber mufste indessen jedesmal schon geschlossen werden, während der Luftstrahl noch in voller Stärke ausströmte, weil andernfalls der letztere, sobald er schwächer wurde, andere Ablagerungen veranlafst haben würde, als jener vorher untersuchte und constante Strom bildete.

Das Reifsbrett war, wie bereits erwähnt, mit einem Netz von geraden Linien überzogen, die sich rechtwinklig schnitten und 1 Zoll von einander entfernt waren. Sie waren sämmtlich numerirt und die Mittellinie des Reifsbretts wurde unter die Achse des Luftstroms gebracht. Die Sandablagerungen erfolgten in der Art, dafs zunächst vor der Oeffnung wegen der heftigen Strömung kein Körnchen liegen blieb, während die geringere Geschwindigkeit an beiden Seiten des Strahls die Anhäufung der Sandkörnchen gestattete. Die Stärke der Ablagerung bezeichnete daher bis zu der Linie, wo diese ihr Maximum erreichte, die Abnahme der Luftströmung. Jenseits dieser Grenze gestaltete sich das Verhältnifs aber anders, insofern hier der

Sand nicht mehr in der entsprechenden Masse hinzugeführt wurde und endlich durch die nur noch wenig oder gar nicht bewegte Luft auch kein Sand von hier fortgetrieben werden konnte. Diejenigen Stellen des Reifsbretts, welche ganz frei von Sand blieben, wurden daher entweder von der stärksten oder von gar keiner Strömung getroffen. In der Richtung des Luftstrahls zeigte sich indessen noch in der Entfernung bis zu 3 Fufs von der Ausflufsöffnung eine sehr schwache Ablagerung, wo also die Bewegung der Luft schon so geringe war, dafs sie unmöglich noch die Körnchen bis dahin schieben konnte. Man mufs also annehmen, dafs diese Körnchen, die hier niederfielen, schon bei dem ersten Zusammentreffen mit dem Luftstrahl so heftig gestofsen wurden, dafs sie bis zu dieser Entfernung entweder unmittelbar, oder, wie es den Anschein hatte, durch wiederholtes Aufsetzen oder Ricochetiren hinüberflogen.

Der Sand, den ich benutzte, war von dem Strande der Ostsee entnommen, ziemlich fein, und von dunkler Farbe, wie man ihn vielfach als Streusand benutzt. Er besteht aus kleinen verschiedenartig gefärbten, abgerundeten Quarzkörnchen, doch befinden sich darunter auch solche, die vom Magnet angezogen werden und von schwarzer Farbe sind. Auffallend war es, dafs bei den Ablagerungen, die der Luftstrom verursachte, keine Sonderung der verschiedenen Körnchen erfolgte, die doch wegen der abweichenden specifischen Gewichte zu erwarten gewesen wäre. Die Körnchen hatten nahe gleiche Gröfse. Diese wird im Folgenden näher nachgewiesen werden. Feiner Staub kommt darin gar nicht vor, weil solcher bei dem Wellenschlage, wobei diese Ablagerungen am Meeresstrande sich bilden, schon ausgespült und durch den rücklaufenden Strom entfernt war. Man hebt diesen Sand in sehr dünnen Schichten, etwa von einem halben Zoll Stärke ab, weil er alsdann am reinsten und am gleichmäfsigsten ausfällt. Einzelne gröfsere Körnchen pflegen aber dennoch darin sich vorzufinden, diese mufste ich durch leises Sieben entfernen, weil sonst ein zufälliges Zusammentreffen mehrerer solcher Körnchen die Oeffnung gesperrt und den Sandstrahl unterbrochen hätte. Es dürfte vielleicht befremden, dafs ich zu diesen Versuchen, wobei ich nur einen schwachen Luftstrom darstellen konnte, den specifisch schwereren Streusand, und

nicht reinen Quarzsand benutzte. Letzterer hat indessen, wo er gleichmäfsig an unserm Strande sich ablagert, gröberes Korn, ist also nicht leichter beweglich. Aufserdem zeigte die Ablagerung des Streusandes auf dem Reifsbrett sich viel deutlicher, als die des weifsen.

Bei Bestimmung der Stärke der Ablagerungen legte ich drei Abstufungen zum Grunde, die am sichersten sich erkennen liefsen. Die erste Grenzlinie trennte den ganz frei gebliebenen Raum von demjenigen, worauf die Sandkörnchen vereinzelt lagen. Nichts desto weniger mufste dabei schon von denjenigen Körnchen abgesehn werden, die ziemlich entfernt von einander waren, weil sonst der freie Raum zu sehr beschränkt und bei manchen Beobachtungen gar nicht vorhanden gewesen wäre. Ich beachtete daher diejenigen Körnchen nicht mehr, die weiter als 2 Linien von einander entfernt waren. Die nächste Grenzlinie wurde an derjenigen Stelle gezogen, wo die Körnchen hin und wieder einander schon berührten, oder wo Gruppirungen begannen. Die dritte endlich umgab diejenigen Ablagerungen, welche das Reifsbrett vollständig überdeckten, so dafs das weifse Papier darunter gar nicht mehr, oder doch nur an vereinzelten kleinen Stellen sichtbar blieb. Diese drei Abstufungen weisen die Figuren in den helleren oder dunkleren Flächen nach.

Das Auftreiben des Sandes wurde jedesmal nur so lange fortgesetzt, als die eigenthümlichen Erscheinungen, die vorzugsweise der Gegenstand der Beobachtung waren, noch sicher bemerkbar blieben. So war es zum Beispiel bei Anwendung dichter oder durchbrochener Wände von besonderer Wichtigkeit, die schwächern Ablagerungen unmittelbar vor denselben noch darzustellen, die aber bald verschwanden, indem sie sich vollständig mit Sand überdeckten. Das Hinzutreiben frischen Sandes mufste daher schon aufhören, ehe dieses geschah.

Bei der erwähnten Eintheilung des ganzen Reifsbretts durch das Netz von numerirten Linien war es leicht, jene Grenzen auf andres in gleichen Abständen liniirtes Papier zu zeichnen, und die so dargestellten Figuren wurden mittelst des Pantographen auf den kleinen Maafsstab übertragen, der für die Figuren 83 bis 90 gewählt ist. In allen diesen ist die Mittellinie des Strahls durch die punktirte Linie bezeichnet, auch zugleich die Lage der Ausflufsöffnung durch die Röhre angedeutet.

Ich betrachte zunächst diejenigen Ablagerungen, die sich auf dem ganz freien Reifsbrett bildeten, wobei also keine entgegenstehende Wand eine Modification der Erscheinung veranlafst. Fig. 83 zeigt dieselben. Die darin angegebenen Pfeile weisen die Richtungen der Fähnchen nach, welche diese in dem Luftstrom annahmen. Es ergiebt sich daraus, wie der Strom sich immer mehr seitwärts ausdehnt und verbreitet, was auch die Grenzen der Ablagerungen ohnfern der Ausflufsöffnung erkennen lassen.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Frage, bis zu welcher Entfernung nach dieser Messung die Sandkörnchen noch von einem schwachen Luftstrom in Bewegung gesetzt werden. Bis zum Abstande von $13^1/_2$ Zoll von der Ausflufsöffnung blieb der Raum in der Mittellinie des Strahls ganz frei. Nach dem aus den Messungen hergeleiteten Gesetz beträgt in diesem Abstande der Luftdruck auf den Quadratzoll Oberfläche 0,105 Gramme. Eine nähere Untersuchung der Körnchen, die mittelst einer Loupe angestellt wurde, ergab, dafs eine Reihe von 20 Stück derselben, die sich gegenseitig berührten, 3 Linien lang war. Hiernach wäre der Durchmesser jedes Körnchens gleich 0,0125 Zoll. Aufserdem wurde der Sand auch gewogen, und zwar fand ich, dafs 200 Körnchen das Gewicht von 9 Milligrammen hatten, dafs also jedes einzelne 0,000045 Gramme wog.

Das specifische Gewicht dieses Sandes stellt sich auf 2,9 und ein Cubikzoll der compacten Masse desselben würde also sehr genau 50 Gramme wiegen. Hieraus ergiebt sich unter Berücksichtigung des obigen Gewichts des einzelnen Sandkörnchens, dafs dieses, wenn es eine Kugel wäre, im Durchmesser 0,01198 Zoll halten würde. Dieses stimmt mit der directen Messung nahe überein. Der gröfste Querschnitt des Körnchens enthält demnach 0,000113 Quadratzoll, und wenn diese Fläche dem Luftdruck von 0,105 Grammen auf den Quadratzoll ausgesetzt wird, so erleidet sie einen Druck von 0,0000118 Grammen. Dieser ist nahe dem vierten Theile ihres Gewichts gleich, und genügte zur Ueberwindung der Reibung der noch in der Bewegung begriffenen Körnchen auf dem ziemlich glatten Papier. Hiernach schliefst sich die beobachtete Erscheinung an die sonstigen Erfahrungen über die Reibung ungefähr an.

Auf dem Kamm der stärksten Ablagerung, oder in 19 Zoll Abstand von der Ausflufsöffnung hört die Bewegung des Sandes auf, denn die Körnchen, die darüber hinaus lagen, wurden nur in Folge des schon früher ihnen mitgetheilten Stofses so weit getrieben, und die Anhäufung würde sich an dieser Stelle nicht gebildet haben, wenn der Luftdruck daselbst noch eine Bewegung veranlassen konnte. Der Druck beträgt hier nach dem obigen Gesetze 0,057 Gramme auf den Quadratzoll, oder auf den gröfsten Querschnitt eines Körnchens 0,0000064 Gramme, also ist derselbe dem siebenten Theil des Gewichts des Körnchens gleich. Durch einen solchen wurde letzteres nicht mehr bewegt.

Fig. 84 zeigt die Ablagerung des Sandes, die sich bildete, wenn der Strahl gegen eine normal davor aufgestellte senkrechte dichte Wand stiefs. Letztere war, wie auch in den folgenden drei Beobachtungen (Fig. 85, 86 und 87), 12 Zoll lang und $6^1/_2$ Zoll hoch und schnitt die Mittellinie jedesmal in $8^1/_2$ Zoll Abstand von der Ausflufsöffnung. Ihre Höhe war so bedeutend, dafs kein Sandkörnchen hinüberflog. Unmittelbar vor ihr bildeten sich sehr auffallende Seitenströmungen, die auch über die Wand hinaus sich noch durch die Richtung der Fähnchen zu erkennen gaben. Sie sind durch die beiden Pfeile bezeichnet. Ihre Stärke wurde durch die Bifilar-Waage bestimmt. In der Mittellinie des Strahls und zwar einen halben Zoll vor der Wand ergab sich der Druck auf 1 Quadratzoll nur noch 0,142 Gramme, während er an derselben Stelle, ehe die Wand aufgestellt wurde, gleich 0,217 gefunden war. Die Seitenströme veranlafsten unmittelbar neben der Wand und zwar in nachstehend angegebenen Abständen von der Mittellinie des Strahls die folgenden Pressungen auf 1 Quadratzoll.

In 1	Zoll	Abstand	0,156	Gramme
2	-	-	0,129	-
3	-	-	0,095	-
4	-	-	0,072	-
5	-	-	0,058	-
6	-	-	0,033	-

Im Abstande von 7 Zoll, also schon über die Wand hinaus, zeigten die Fähnchen noch die gleiche Richtung des Luftstroms,

doch war derselbe hier schon so geschwächt, dafs die Bifilar-Waage nicht mehr mefsbar ausschlug.

Sobald ich den Sand gegen die in dieser Art aufgestellte Wand fliegen liefs, so sprangen die Körnchen daran etwa 1 Zoll hoch empor, und fielen alsdann wieder zurück, wodurch die stärkere Ablagerung vor der Wand, selbst in der Mittellinie, sich bildete. Der dagegen tretende Luftstrom griff diese aber fortwährend an, so dafs sie keine grofse Breite gewinnen konnte. Es gab sich sogleich eine schmale Rinne neben der Wand zu erkennen, die anfangs ganz leer blieb, sich aber nach und nach füllte, sobald die Ablagerung davor sie dem unmittelbaren Angriff des Luftstroms entzog; doch auch später liefs sie sich noch wahrnehmen. Die Beobachtung wurde abgebrochen, sobald die Körnchen sich hier stark gruppirt hatten, weil später diese Rinne nicht mehr sicher zu erkennen gewesen wäre. Letztere war etwa 2 Linien breit und wurde ohne Zweifel durch die Seitenströmung veranlafst. Diese Strömung blieb aber, wie aus der Messung des Drucks sich bereits ergiebt, sehr geringe, weil die Wand nur an einer Stelle von dem schwachen Luftstrahl, nicht aber, wie auf dem Seestrande geschieht, von einem sehr breiten Strom getroffen wurde. Es kann hiernach nicht befremden, dafs diese Rinnen vor dichten Wänden sich hier nicht so auffallend, wie in der Wirklickeit zu erkennen gaben. Ich mufs noch erwähnen, dafs die Ablagerung sehr nahe in gleicher Weise erfolgte, wenn ich diese Wand durch eine andre, eben so aufgestellte, jedoch nur 1 Zoll hohe vertauschte. Ueber letztere flogen indessen einzelne Sandkörnchen hinüber, so dafs der Raum dahinter sich gleichfalls mit zerstreut liegenden Körnchen überdeckte.

Fig. 85 zeigt die Ablagerung, die sich bildete, wenn dieselbe vertikale Wand nicht normal gegen die Mittellinie des Strahls gerichtet war, sondern einen Winkel mit derselben machte, dessen Tangente gleich 3 war, oder der 71° 33,'9 mafs. Der Sand trieb hier augenscheinlich schon sehr stark nach derjenigen Seite, wo die Wand gegen den Strahl einen stumpfen Winkel bildet, nichts desto weniger entwich die Luft noch nach beiden Seiten der Wand, wie dieses sich auch an der Fortsetzung der Rinne in dem spitzen Winkel erkennen läfst. Die Stärke der Strömung in beiden Richtungen war jedoch auffallend verschieden.

Der Druck derselben wurde an beiden Enden der Wand gemessen, und zwar ergab sich dieser im stumpfen Winkel gleich 0,058, im spitzen dagegen nur 0,021 Gramme auf den Quadratzoll.

Wenn die Richtung der Wand nach Fig. 86 um 45 Grade von der Mittellinie des Luftstrahls abwich, so war die Parallel-Strömung in dem spitzen Winkel nicht mehr zu erkennen, dagegen stellte diese sich in dem stumpfen noch ein, ohne dafs sie jedoch eine gröfsere Stärke, als bei der früheren Stellung (Fig. 85) zeigte. Sie hatte indessen jetzt an Breite zugenommen, wie dieses sich auch an der Rinne neben der Wand wahrnehmen läfst.

Fig. 87 zeigt endlich die Ablagerung, die sich bildete, wenn die Wand unter einem Winkel, dessen Tangente gleich 0,5 ist, oder der 26° 33,'3 mifst, gegen die Mittellinie des Strahls gerichtet wurde. Die zuletzt erwähnten Erscheinungen haben sich hier noch stärker ausgebildet und die Sandmasse wird überwiegend in den stumpfen Winkel hineingetrieben, wo sie neben der Wand wieder vor der stärksten Ablagerung eine etwas vertiefte und breite Rinne bildet.

Demnächst wurde statt der dichten, eine durchbrochene Wand benutzt, die aus einem dünnen Brettchen von 7 Zoll Länge bestand, an dessen unterer Seite auf $5^1/_2$ Zoll Länge eine Reihe von 3 Zoll hohen Sägeschnitten angebracht war. Das Brettchen hatte hierdurch das Ansehn eines Kamms erhalten, wobei jedoch die Zähne durchweg gleiche, und zwar dieselbe Breite hatten, wie die dazwischen befindlichen Sägeschnitte. Mittelst einer rückwärts angebrachten Stütze wurde diese Wand wieder senkrecht auf das Reifsbrett gestellt und zwar genau übereinstimmend mit der bereits bezeichneten Aufstellung der festen Wand. Ihre Mitte traf wieder in die Mittellinie des Luftstrahls und war $8^1/_2$ Zoll von der Ausflufsöffnung entfernt. Auch bildete sie gegen die Richtung des Strahls nach einander die Winkel von 90, $71^1/_2$ und 45 Graden.

Fig. 88 zeigt die Ablagerungen, welche eintraten, wenn die Wand den Strahl normal auffing, und diese unterscheiden sich wesentlich von denjenigen an der dichten Wand, insofern die stärkste Anhäufung des Sandes theils unmittelbar vor und theils dicht hinter der Wand eintrat, während jene vertiefte Rinne, durch die Parallelströmung veranlafst, hier gar nicht zu bemerken

war. Auch die Fähnchen, wenn sie an die Wand und selbst an den äufseren dichten Theil derselben gerückt waren, liefsen solche Seitenströmung nicht erkennen. Die bewegte Luft drang also grofsentheils durch die Zwischenräume hindurch, indem sie aber durch die Zähne etwas aufgehalten wurde, so verminderte sich ihre Geschwindigkeit und zugleich der Druck, den sie gegen die Sandkörnchen ausübte. Hierdurch wurde sowol vor, als auch hinter der Wand die Ablagerung begünstigt und selbst die Zwischenräume füllten sich soweit an, als sie durch den bereits aufgefangenen Sand vor der Einwirkung des Luftstroms gesichert waren. Unmittelbar vor der Wand und zwar in der Mittellinie des Strahls mafs ich den Druck gleich 0,072 Gramme auf den Quadratzoll, und sehr nahe eben so grofs war derselbe auch dicht hinter der Wand. Durch die Aufstellung der letztern hatte sich also der Druck auf den dritten Theil seines früheren Werths ermäfsigt. Wenn diese Figur einen auffallenden Mangel an Symmetrie zeigt, insofern an der rechten Seite des Strahls, und zwar ohnfern der Ausflufsöffnung, eine stärkere Ablagerung angegeben ist, als an der linken, so rührt dieses allein davon her, dafs der Sandstrahl und der Luftstrahl sich nicht centrisch trafen, vielmehr die Achse des ersten vielleicht um den vierten Theil einer Linie von der des zweiten sich entfernt hatte.

Sehr übereinstimmend mit der so eben beschriebenen ist die Sandablagerung, die sich bildete, wenn die durchbrochene Wand gegen die Mittellinie des Strahls unter einem Winkel von $71\frac{1}{2}$ Graden aufgestellt war, wie Fig. 89 zeigt. Eine wesentliche Aenderung der Erscheinung trat auch nicht ein, wenn dieser Winkel sich nach Fig. 90 auf 45 Grade ermäfsigte. In diesem Fall wurde aber wieder der Sand vorzugsweise in den stumpfen Winkel hineingetrieben. Auch verdienen die Luftströmungen, die sich hier erkennen liefsen, erwähnt zu werden. Zunächst zeigten die Fähnchen jetzt wieder eine entschiedene Strömung vorlängs der Wand und zwar auf der Seite des stumpfen Winkels, woselbst sie noch einen Zoll über die Wand hinaus sich in die Richtung der letztern stellten. Aufserdem nahmen auch diejenigen Fähnchen, welche auf der Rückseite der Wand standen, eine Richtung an, die keineswegs mit der des Luftstrahls übereinstimmte, vielmehr einen rechten Winkel gegen die Wand bildete.

Die Ablagerungen hinter der Wand, die in Fig. 89 und 90 gezeichnet sind, lassen diese veränderte Richtung gleichfalls erkennen. Die Luft wird von der Wand zurückgehalten und folglich etwas stärker gespannt, diese Spannung bildet aber den Druck, der sie durch die Oeffnungen hindurchtreibt und bedingt daher auch die fernere Richtung ihrer Bewegung. Die Verhältnisse sind ungefähr dieselben, wie in einem Strom, der soweit anschwillt, dafs das Wasser in mäfsiger Höhe über die Buhnen fliefst. Dasselbe verfolgt alsdann ganz unabhängig von der allgemeinen Richtung des Stroms einen Weg, der normal gegen die Buhnen gekehrt ist. Aufserdem geben sich noch vielfach andre Beziehungen zwischen den hier mitgetheilten Erscheinungen, die vom Luftstrom herrühren, und denen, welche das fliefsende Wasser verursacht, zu erkennen.

Schliefslich mag noch erwähnt werden, dafs ich auch über die Wirkungen von sehr niedrigen Wänden eine Reihe von Versuchen anstellte. Zuerst wurde eine dichte Wand von 2 Linien Höhe benutzt. Wenn dieselbe wieder $8\frac{1}{2}$ Zoll von der Ausflufsöffnung entfernt und normal gegen die Richtung des Luftstroms gestellt war, so bildete sich davor, während der gröfste Theil des Sandes hinüberflog, in der Mittellinie eine sehr steile Böschung, die nahe die Höhe der Wand erreichte und zweifache Anlage hatte. Wenn ich dagegen die Wand um 4 Zoll weiter zurückstellte, wo also die Stärke der Strömung schon sehr abgenommen hatte, so lagerte sich der Sand in der Mittellinie des Strahls in der Art ab, dafs er mit der Neigung 1 : 3 anstieg.

Wurde die Wand soweit gedreht, dafs sie mit der Richtung des Strahls einen Winkel von 45 Graden machte, so zeigte sich die eigenthümliche Erscheinung, dafs die Ablagerung, wie lange ich den Versuch auch fortsetzen mochte, in der Mittellinie des Strahls die volle Höhe der Wand nicht erreichte, sich vielmehr nur etwa bis zur Hälfte derselben erhob. Die sämmtlichen Körnchen, welche die Böschung erstiegen, wurden schräge über sie fortgetrieben. Im Abstande von $1\frac{1}{2}$ Zoll seitwärts lagerte sich der Sand dagegen sehr flach, so dafs er etwa eine fünffache Anlage annahm, sich auch so weit anhäufte, dafs er die Wand vollständig überdeckte und sich immer mehr über sie erhob.

Eine durchbrochene Wand von 2 Linien Höhe zeigte keine

wesentliche Verschiedenheit von den Ablagerungen, die in Fig. 88, 89 und 90 dargestellt sind. Die Wirksamkeit derselben wurde aber in hohem Grade verstärkt, wenn ich eine zweite gleichfalls durchbrochene Wand von gleicher Höhe in 4 Linien Entfernung dahinter stellte. Der Raum zwischen beiden überdeckte sich alsdann sogleich mit Sand und die Ablagerungen dehnten sich auch an beiden äufsern Seiten der Wände viel schneller aus. Der Versuch im Kleinen bestätigte also vollständig die Angemessenheit des oben (§ 26) beschriebenen Verfahrens, wonach zur Bildung der Vordüne zwei durchbrochne Wände hinter einander gestellt werden.

Es ergiebt sich ferner hieraus, dafs die von Sören Biörn empfohlne Methode gleichfalls zum Ziel führt, wonach statt der durchsichtigen Wände eine dichte gewählt wird, die jedoch nur etwa 1 Fufs hoch ist, und die, nachdem sie die Ablagerung des Sandes veranlafst hat, aufs Neue gehoben wird, um die Wirkung fortzusetzen. Es leuchtet indessen ein, dafs die Darstellung des durchsichtigen Zauns in angemessner Höhe weniger kostbar und zugleich weniger mühsam ist, als die erste Anlage und das mehrfach wiederholte rechtzeitige Anheben der niedrigen dichten Wand.

In den vorstehenden Untersuchungen ist die Stärke des Luftstroms nur durch den Druck bezeichnet, den derselbe auf eine normal entgegengekehrte Ebene von 1 Quadratzoll Gröfse ausüben würde. Seine Geschwindigkeit ist aber unbeachtet geblieben, da diese, wie oben erwähnt, bei dem kleinen Querschnitt des Strahls sich nicht direct messen liefs. Da jedoch zwischen ihr und jenem Druck eine bestimmte Beziehung stattfinden mufs, so kann man sie auch aus der letztern herleiten. In dieser Absicht habe ich noch zahlreiche Beobachtungen angestellt*), und es ergab sich daraus, dafs der Druck nicht nur dem Flächeninhalt der Scheibe proportional, sondern in geringem Maafse auch vom Umfange derselben abhängt. Abgesehn hiervon war er proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit.

---

*) „Messung des Widerstandes, den Planscheiben erfahren, wenn sie in normaler Richtung gegen ihre Ebenen durch die Luft bewegt werden" in den Abhandlungen der Königl. Academie der Wissenschaften 1874.

Bezeichnet c die Geschwindigkeit, F die Gröfse der Ebene und p ihren Umfang, Alles in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, so ist D oder der Druck, den die Ebene erleidet, in Grammen

$$D = (0{,}0000\,331 + 0{,}000\,000\,138 \,.\, p)\, Fc^2$$

und zwar bei der Temperatur von 12° Reaumur oder 15° Celsius und bei dem Barometerstande von 28 Pariser Zoll.

Ist demnach die Scheibe ein Quadrat von 1 Zoll Seite, so ist

$$p = 4$$

$$\text{und } F = 1.$$

Man hat daher

$$c = 172{,}38 \,.\, \sqrt{D}.$$

Im Vorstehenden blieb D ungefähr in den Grenzen von 0,1 bis 0,2 Grammen, die entsprechenden Werthe der Geschwindigkeiten sind daher 54,5 und 77,1 Zoll in der Secunde.

Vierter Abschnitt.

Anordnung der Seehäfen.

§ 29.

Die verschiedenen Häfen und die besondren Erfordernisse derselben.

Die Seehäfen haben andre Bestimmung, als die Flufshäfen, und sind von viel gröfserer Bedeutung, als diese. Letztere dienen, wie bereits im zweiten Theil dieses Handbuchs (§ 61) erwähnt ist, zur Sicherung der Fahrzeuge gegen Eisgang oder gegen heftige Strömung, die zur Zeit der höchsten Anschwellungen eintritt, sowie auch zur Erleichterung der Ueberwachung derselben, so oft sie nicht benutzt werden. Das Befrachten und Entladen der Flufsschiffe auf dem Strom selbst oder auf Canälen ist dagegen mit keinerlei Gefahr verbunden, und geschieht daher auch oft an den natürlichen oder an den zu diesem Zweck künstlich befestigten Ufern derselben.

Ganz anders verhält es sich mit der Seeschiffahrt. Es kommt nicht leicht vor, dafs ein Seeschiff *an das Ufer* des offnen Meers *anlegt*. Schon die mangelnde Tiefe vor dem Strande verbietet dieses, und es könnte daher nur vor Felsufern geschehn, die sich steil aus dem Grunde erheben. Vorzugsweise gestattet aber die Wellenbewegung, die nur ausnahmsweise und auf kurze Zeit aufhört, und sich alsdann wieder schnell und oft ganz unerwartet einstellt, nicht die unmittelbare Annäherung an das Ufer. Das Schiff würde ebensowol bei der Berührung mit dem aufgeschwemmten Boden, wie mit einer felsigen Küste augenscheinlicher Gefahr ausgesetzt sein.

In Buchten, die gegen die herrschenden Winde geschützt sind, findet man zuweilen *Landebrücken*, die bis über die Untiefen neben dem Strande herausgeführt sind, und an deren äufsern Enden die Schiffe unmittelbar anlegen und nicht nur

Personen, sondern auch Güter daselbst absetzen und aufnehmen. Beispiele hiervon kommen in England mehrfach vor. So ist eine solche Landebrücke an der südlichen Küste der Grafschaft Sussex bei Brighton 1100 Fuſs weit in die flache Bucht hinausgeführt, welche westwärts durch die Insel Wight und auf der Ostseite durch das Vorgebirge Beachy-Head geschützt wird. Dieser Bau ist insofern wichtig, als er einer der ersten war, wobei das System der Hängebrücken in Anwendung kam. Um ihn gegen Wellenschlag möglichst zu sichern, erhielt er Spannungen von 220 Fuſs. Auf der Insel Wight ist vor Ryde zu gleichem Zweck eine noch längere Landebrücke in gewöhnlicher Holzconstruction über die ausgedehnten Sandflächen fort bis zu etwas tieferm Wasser in den schmalen Arm hinausgeführt, der diese Insel von dem Ufer bei Portsmouth trennt. Eben so ist im Golf St. Vincent ohnfern Adelaide in Süd-Australien eine 1250 Fuſs lange Landebrücke über den flachen Meeresgrund hinausgeführt, so daſs Schiffe bis 18 Fuſs Tiefgang zur Zeit des höhern Wasserstandes anlegen können. Der Fluthwechsel beträgt hier 6 Fuſs. Die Brücke ruht auf guſseisernen Röhren mit Grundschrauben, welche die 20 Fuſs von einander entfernten Joche bilden, während der Oberbau aus doppelt T förmigen gewalzten Schienen besteht und mit Bohlen überdeckt ist. Vor dem Kopf dieses Baues befindet sich ein kleiner halbkreisförmiger Wellenbrecher.

Auch an der Ostsee kommen an geschützten Stellen ähnliche Anlagen vor. So sieht man bei Blandow auf dem nördlichen Ufer von Jasmund auf der Insel Rügen eine leicht construirte Landebrücke, über welche die dort fabricirte Schlemmkreide verladen wird. Die Meeresbucht davor ist gegen alle südlichen und westlichen Winde geschützt, aber dennoch dürfen die Schiffe nur bei ruhiger Witterung daselbst anlegen, auch ist die Brücke bei Nord- und Oststürmen vielfachen Beschädigungen ausgesetzt, und selbst vor vollständiger Zerstörung nicht gesichert.

An der westlichen Seite des Hafens von Dover ist ein massiver Damm, der Admiralitäts Pier, erbaut, der bereits weit vor das Ufer vortritt und die Wassertiefe von 40 Fuſs erreicht hat. Er soll eine, rings umschlossene Rhede auf der Westseite begrenzen, doch fehlen gegenwärtig noch die andern Theile

dieser grofsartigen Anlage, aber er gewährt bereits den Schiffen wesentlichen Schutz, die nach der Richtung des Windes entweder östlich oder westlich von ihm vor Anker gehn. Die Dampfböte, welche die Verbindung mit Calais vermitteln, legen gleichfalls an ihn an, und zwar wieder nach der jedesmaligen Richtung des Windes entweder an seiner östlichen oder westlichen Seite. Die Eisenbahn ist aber bis auf den Damm fortgesetzt, so dafs die von Frankreich kommenden Reisenden unmittelbar vom Schiff in die Wagen steigen können, die sie nach London führen. Dieser Damm, dessen nähere Beschreibung später folgen wird, bildet nach den auf Veranlassung des Parlaments darüber angestellten Vernehmungen eine sehr sichere Anlegestelle für Schiffe, und zwar wird dabei erwähnt, dafs südöstliche Stürme, welche zu beiden Seiten eine starke Wellenbewegung veranlassen würden, wegen der Nähe der gegenüberliegenden Französischen Küste nur von geringer Wirkung sind, und dafs der Uebergang eines heftigen Windes von Westen nach Osten immer durch Norden erfolgt, so dafs also zwischen den Zeiten, wo die Wellen den Damm von der einen und der andern Seite treffen, jedesmal eine gewisse Abstillung des Wassers erfolgt, in welcher die Schiffe Gelegenheit haben, ihren Ankerplatz oder ihre Anlegestelle zu wechseln. Es ergiebt sich hieraus, dafs der Bau in seiner jetzigen Ausdehnung zwar bereits sehr nützlich ist, dafs er aber dennoch nicht die Bequemlichkeit bietet, welche der grofse Verkehr fordert. Der Damm bildet, je nachdem die Wellen von der einen, oder der andern Seite anlaufen, eine ziemlich geschützte Bucht, deren Sicherheit aber aufhört, sobald der Wind umsetzt.

Wenn nach dem Vorstehenden auch hin und wieder in Buchten oder in engen Meeresarmen ein Anlegen der Schiffe an solche Landebrücken erfolgt, so bezieht sich dieses doch nur auf einen beschränkten Verkehr, und der grofse Handel fordert unbedingt geschützte Liegeplätze für die Seeschiffe, worin mit voller Sicherheit die Ladungen eingenommen oder gelöscht werden können, und wo die Schiffe, auch ohne vollständig bemannt zu sein, überwintern oder zu andrer Zeit ohne Gefahr liegen, wenn sie aufser Dienst sind.

Vielfach kommt es auch vor, dafs Ladungen aufserhalb des Hafens und zwar vor demselben, auf der Rhede, eingenommen

oder gelöscht werden. Das Schiff ankert alsdann auf tiefem Wasser, und die Ladung wird auf Lichterfahrzeugen zu- oder abgeführt. Man ist hierzu gezwungen, so oft die Hafenmündung sich so verflacht hat, dafs die Schiffe mit voller Ladung nicht ein- und auslaufen können. Aufserdem mufs dasselbe auch geschehn, wenn Holz oder Getreide von einem an der See belegenen Ort, der keinen Hafen hat, unmittelbar in Seeschiffe verladen werden soll. Das Letzte findet zum Beispiel bei dem Städtchen Leba in Hinterpommern statt, wo aus den benachbarten Forsten grofse Holzmassen auf dem Lebaflufs herabgeflöfst und hier verladen werden. Die Mündung dieses Flusses ist aber nur etwa 3 Fufs tief, daher können selbst die kleinen Dänischen Jachten nicht einlaufen, noch dem flachen Strande sich nähern. Sie müssen daher in der Entfernung von etwa einer Viertel Meile vor Anker gehn, und das Holz wird entweder in kleine Böte verladen, oder wenn es Langholz ist, herausgeflöfst. Letzteres ist besonders beschwerlich, und da die Flöfse bei dem langsamen Fortgange leicht von einem inzwischen entstehenden Winde, auch wohl durch eine heftigere Küstenströmung erfafst werden, so treibt das Holz nicht selten fort. Für das Fahrzeug, das vor Anker liegt, tritt aber auch zuweilen grofse Gefahr ein, und ohne Rücksicht darauf, ob es seine volle Ladung hat, oder nicht, müssen bei zunehmendem Winde die Anker gelichtet und die Segel beigesetzt werden. Ganz ähnlich sind die Verhältnisse, wenn vor einem gröfsern Hafen, dessen Mündung nicht die nöthige Wassertiefe hat, die ankommenden und ausgehenden Schiffe den ersten oder letzten Theil der Ladung auf der Rhede löschen oder einnehmen, weil sie nur mit geringerem Tiefgange die Mündung passiren können. Dieses war in früherer Zeit bei Pillau beinahe immer nothwendig, aber in jedem Jahr wiederholten sich dabei Unglücksfälle, indem Holzflöfse forttrieben oder Theile andrer Ladungen verloren wurden, auch wohl die Lichterfahrzeuge in weiter Ferne Schutz suchen mufsten. Zuweilen lagen selbst die Seeschiffe auf der Rhede bei anhaltenden Stürmen nicht mehr sicher vor ihren Ankern, und wurden vertrieben, in welchem Fall sie weder durch das flache Seegatt einlaufen, noch auch bei dem entgegenstehenden Winde das offene Meer gewinnen konnten. Die Strandung war alsdann unvermeidlich, und um die Gefahr

derselben möglichst zu vermindern, blieb nur übrig, das Ankertau zu kappen und unter vollen Segeln hoch auf den Strand aufzulaufen.

Uebelstände dieser Art müssen bei Hafenanlagen möglichst vermieden werden. Der Zugang mufs solche Tiefe haben, dafs die beladenen Schiffe ein- und auskommen können, und der Wellenschlag der See darf sich nicht bis in das Innere des Hafens fortsetzen. Alsdann bietet die Befestigung der Schiffe selbst bei Stürmen keine Schwierigkeit und das Laden, wie das Löschen kann jederzeit unbehindert erfolgen.

Was die erste Bedingung betrifft, nämlich die Zugänglichkeit des Hafens, so tritt dabei eine wesentliche Verschiedenheit ein, je nachdem ein starker Fluthwechsel stattfindet, oder nicht. Die Häfen an der Ostsee, am Mittelländischen und an andern Meeren, die keinem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind, haben den grofsen Vorzug, dafs das Fahrwasser, welches sie mit der See verbindet, abgesehn von den mäfsigen Veränderungen des Wasserstandes in Folge der Winde, so wie auch von zeitweisen Verflachungen und Vertiefungen, dauernd die gleiche Tiefe behält, und dafs die Bassins, worin die Schiffe liegen, durch keine Schleusen abgeschlossen werden dürfen, um den höhern Wasserstand darin zurückzuhalten. Der Hafen ist also in allen seinen Theilen stets zugänglich.

Anders sind die Verhältnisse an solchen Meeren, worin die Fluthen hoch auflaufen. Die Zugänge zu den an solchen belegenen Häfen sind gemeinhin zur Zeit des Niedrigwassers nur seichte Rinnen, die alsdann kaum von Fischerböten befahren werden, bei Hochwasser füllen sie sich aber so hoch, dafs grofse Schiffe darin einkommen können. Der Schiffer kann, wie bereits § 7 mitgetheilt ist, aus den Fluth-Tabellen leicht entnehmen, in welcher Stunde am Tage seiner Ankunft er die erforderliche Wassertiefe findet, und diese mufs er in offener See abwarten. Nachdem das Schiff eingelaufen ist, darf es aber im Innern des Hafens während der Ebbe sich nicht auf den Grund stellen. Nur kleine Fahrzeuge, die verhältnifsmäfsig gröfsere Festigkeit haben, können ohne Nachtheil dieses thun, doch mufs jedenfalls der Grund recht eben und nicht hart sein. Das grofse Seeschiff darf dagegen den Grund nie berühren. Zu diesem Zweck müfste

ein offenes Bassin, worin es liegt, so tief ausgehoben sein, dafs es selbst bei niedrigstem Wasserstande noch darin schwimmt, und dabei träte noch der Uebelstand ein, dafs das Schiff zweimal am Tage hoch gehoben würde, und in gleicher Weise wieder herabsänke, wodurch das Löschen und Laden übermäfsig erschwert werden würde. Ganz allgemein ist es daher üblich, das Bassin nicht in freier Verbindung mit dem Vorhafen zu belassen, sondern es durch eine Schleuse, die gewöhnlich nur aus einem Haupt und einem Thorpaar besteht, zu sperren. Zur Zeit des Hochwassers, also wenn Schiffe ein- und ausgehn, sind die Thore geöffnet, unmittelbar nach Beginn der Ebbe werden sie aber geschlossen und das Hochwasser bleibt daher im Bassin zurück. Diese Bassins nennt man auch bei uns mit dem Englischen Namen Docks, die Benennung Flotthäfen ist wenig üblich. Der ganze Hafen mit Einschlufs des Vorhafens, der nur zur Zeit des Hochwassers benutzt wird, heifst aber im Gegensatz zu den freien Häfen ein Fluthhafen (tidal harbour).

Da in England die Handelshäfen und sonach auch die Docks oder die Bassins, worin das Hochwasser zurückgehalten wird, meist Privateigenthum von Gesellschaften sind, so haben diese zugleich für die möglichste Erleichterung des Verkehrs und für Sicherung gegen Entwendung der Güter gesorgt. Es sind daher sicher umschlofsne Plätze, auf welchen jene Bassins von ausgedehnten Magazinen umgeben und mit den verschiedensten Hebevorrichtungen versehn sind, um das Befrachten und Löschen zu erleichtern. Diese Etablissements nennt man gleichfalls Docks.

Die meisten Seehäfen haben den Zweck, die aus dem Binnenlande kommenden Güter dem Seeverkehr zu überweisen, oder umgekehrt die von auswärts zugeführten Waaren und Producte in diejenigen Transportmittel überladen zu lassen, welche sie in das Binnenland führen. Dieses sind die Handelshäfen. Wenn neben denselben aber auch bedeutende Orte entstanden sind, so ist der Beitrag, den diese für den Verkehr liefern, doch immer verhältnifsmäfsig nur sehr geringe. Ein lebhafter Verkehr bildet sich nur vor einem ausgedehnten und reichen Binnenlande. Damit dieser sich aber entwickeln kann, müssen nicht nur die Seeschiffe sicher und leicht in den Hafen gelangen, sondern Verbindungen mit dem Binnenlande, seien es Ströme oder Canäle

ausgedehnte Eisenbahnen oder gute Strafsen, müssen auch zur bequemen Zu- und Abfuhr der Güter Gelegenheit bieten. Der Hafen mufs auch so geräumig und zugleich in der Art angeordnet sein, dafs die Umladungen möglichst leicht und ohne gegenseitige Störung auszuführen sind. Dabei ist noch zu berücksichtigen, dafs ein grofser Theil der von der einen, oder der andern Seite beigeführten Güter nicht unmittelbar weiter befördert werden kann, vielmehr, bis die Gelegenheit dazu sich bietet, neben dem Hafen entweder unter freiem Himmel, oder in bedeckten Magazinen gelagert wird.

Indem aber die zur See einkommenden Güter der Revision der Steuerbehörde unterworfen sind und auch über die ausgehenden eine sichere Controlle vorgeschrieben ist, so mufs dafür gesorgt sein, dafs beim Umladen, so oft es nöthig erscheint, jedes Stück und jedes Colli gewogen oder auch speciell untersucht werden kann. Hiernach sind die erforderlichen Waagen und angemefsne offene und überdeckte Räumlichkeiten anzuordnen.

In neuerer Zeit stellt sich noch eine andre Forderung als unabweisbar heraus, nämlich, dafs das Seeschiff in möglichst kürzester Zeit gelöscht und wieder beladen werden mufs. Anfangs dieses Jahrhunderts kamen Fahrten während des Winters nicht vor, die Schiffe lagen alsdann abgetakelt in den Häfen, und wenn sie während des Sommers eine oder höchstens zwei Fahrten aus unsern Häfen nach England gemacht hatten, so deckten die Frachten dafür die Zinsen und sonstigen Auslagen. Seitdem jedoch die Dampfschiffahrt sich weiter ausgedehnt hat, und ein schneller und regelmäfsiger Güterverkehr durch sie veranlafst ist, müssen die Fahrzeuge bei ihrem grossem Werth und der starken Besatzung dauernd im Dienst erhalten werden. Das lange Liegen im Hafen ist daher nicht mehr statthaft. Für gröfsere Dampfer wird die Liegezeit für einen Tag oft mit 500 und zuweilen sogar bis 1000 Thalern berechnet, und sonach müssen zur Erhaltung eines lebhaften Verkehrs alle Anordnungen diesem Bedürfnifs entsprechend getroffen werden.

Dazu gehört nicht nur die nöthige Räumlichkeit im Hafen selbst und in seinen Umgebungen. Eisenbahngeleise und Zufuhrwege müssen ihn umschliefsen, an passenden Stellen müssen die nöthigen Schuppen zur Zoll-Abfertigung und zum Niederlegen

derjenigen Güter vorgerichtet sein, die einige Zeit hindurch unter Dach und unter sicherm Verschlufs lagern sollen, während andre Güter, wie etwa Kohlen, gröfsere umzäunte Räume fordern, und andre wieder, die in Kurzem abgefahren werden, ganz frei, jedoch unter Aufsicht liegen bleiben. Man mufs von dem zu erwartenden Verkehr eine klare Vorstellung sich gebildet haben, um bei einer neuen Hafenanlage die erwähnten Räumlichkeiten richtig anzuordnen, so dafs jedes Bedürfnifs leicht und zwar ohne gegenseitige Störung befriedigt werden kann.

Von besonderer Wichtigkeit ist die hinreichende Ausdehnung der Anlegeplätze oder der Kais, welche die Hafenbassins umschliefsen. Diejenigen Schiffe, die ihre Ladung unmittelbar in Flufs- und Canalschiffe abgeben, brauchen zu diesem Zweck nicht ans Ufer zu legen, sie gehn an passenden Stellen vor Anker und indem die kleinern Fahrzeuge an einer oder an beiden Seiten befestigt werden, erfolgt hier die Umladung. In dieser Weise wird jedoch nur ein geringer Theil des Verkehrs, namentlich Kohlen, behandelt, die meisten Güter müssen auf das Ufer gebracht werden, um entweder hier einige Zeit zu lagern, oder um auf Eisenbahnen oder auf andern Wegen weiter befördert zu werden.

Kleinere Schiffe, wie etwa Marktschiffe, legt man, um an Raum zu sparen, mit dem Buge oder dem Vordertheil an das Ufer. Ein jedes hat alsdann seinen besondern Zugang, doch ist dieser keineswegs bequem, und wenn etwa Getreide daraus entladen werden soll, so stellt sich das Austragen bedeutend theurer, als wenn das Schiff mit der breiten Seite am Ufer läge. Das letzte ist daher in jeder Beziehung vortheilhafter und für grofse Schiffe sogar nothwendig. Zuweilen ist man alsdann noch gezwungen, eine zweite Reihe Schiffe unmittelbar hinter die erste zu legen, und beide werden gleichzeitig befrachtet und entladen. Der Transport nach oder von dem hintern Schiff ist aber wieder schwierig und beschränkt sich allein auf kleinere Massen, die ein einzelner Mensch tragen kann. Hiernach ist es besonders vortheilhaft, wenn jedes Seeschiff, das ent- oder beladen werden soll, unmittelbar, und zwar in paralleler Richtung an das Ufer anlegen kann. Um dieses selbst in kürzern Bassins, die aber hinreichende Breite haben, zu ermöglichen, führt

man massive, oder auch wohl nur hölzerne Anlegedämme oder Piers ungefähr normal gegen das Ufer hinaus, auf welchen die Abfuhrwege oder auch die Geleise sich befinden, und an deren jeder Seite ein oder auch zwei Schiffe liegen können.

Vielfach ist dieses in New-York geschehn, wo sowol am Hudson wie am East River gegen hundert dergleichen Dämme existiren, wodurch, abgesehn von den natürlichen Ufern, noch Anlegestellen geschaffen sind, deren Gesammtlänge etwa 50 000 Fufs mifst. Für den übermäfsigen Verkehr, der sich hier bildet, und der wohl von keinem an einem andern Platz übertroffen wird, war dieses nothwendig. Hierzu kommt aber noch der günstige Umstand, dafs bei dem geringen Fluthwechsel von 3 bis 4 Fufs keine abgeschlofsnen Docks erforderlich waren, vielmehr alle Schiffe im offenen Strom liegen durften.

Für Port Jackson neben Sydney wählte der Ingenieur Selfe ein andres System der Anlegedämme, das Fig. 104a auf Taf. XVII darstellt. Dasselbe hat wichtige Vorzüge vor jenem. Es zeichnet sich nämlich dadurch aus, dafs die Schiffe beim Anlegen und Abfahren nicht quer gegen den Hafen gestellt werden dürfen, wobei sie den sonstigen Verkehr behindern, oder in ihrer Bewegung selbst behindert würden, vielmehr liegt jedes frei und kann jederzeit abgehn. Auch ist Gelegenheit geboten, dafs an seine äufsere Breitseite ein Lichterfahrzeug gelegt werden kann, und wenn endlich das Schiff auch etwa um den dritten Theil seiner Länge über den Damm hinausreicht, so kann es von demselben schon bequem entladen oder befrachtet werden.

Barret*) hat durch Vergleichung mehrerer frequenter Häfen über die erforderliche Ausdehnung derselben, wie der zugehörigen Anlagen, einige Regeln aufgestellt, von denen er zwar selbst sagt, dafs sie keine allgemeine Gültigkeit haben, die ich aber dennoch hier wiedergebe. Man lege den jährlichen Verkehr der einkommenden und ausgehenden Güter zum Grunde, die Gesammtlänge der Anlegestellen berechnet sich alsdann in

---

*) Note sur l'aménagement des ports de commerce, par M. L. Barret, pag. 52.

der Art, dafs für jede 500 Tons 1 laufendes Meter Kai anzunehmen ist (78 Last auf 1 Fufs)*).

Damit die Schiffe und der Landverkehr freie Bewegung haben, mufs der Hafen für 1 Meter Kai 120 bis 125 Quadratmeter (für 1 Fufs $2^2/_3$ bis $2^3/_4$ Quadratruthen) Wasserfläche, und für Wege, Eisenbahnen, Lagerplätze, Magazine und dergleichen 60 bis 65 Quadratmeter ($1^1/_3$ bis $1^1/_3$ Quadratruthen) Landfläche enthalten. Für jedes Ton des jährlichen Verkehrs braucht man also im Ganzen 0,36 bis 0,38 Quadratmeter (für jede Last 7,4 bis 7,8 Quadratfufs) Hafenraum.

Ferner wird angegeben, dafs die Eisenbahn-Stränge neben dem Hafen sechs Mal so lang, als die Kais sein müssen, und endlich dafs die überdachten Räume in den verschiedenen Etagen der Magazine im Ganzen für 1 Meter Kai 25 bis 30 Quadratmeter (für 1 Fufs 80 bis 95 Quadratfufs) halten müssen.

Demnächst sind Krahne erforderlich, die durch Dampf oder Wasserdruck in Thätigkeit gesetzt werden, da der Betrieb von solchen durch Menschenkraft theils zu theuer ist, theils auch zu viel Zeit in Anspruch nimmt. Die gröfsern Dampfböte pflegen freilich mit Vorrichtungen dieser Art versehn zu sein. In der Mitte des Schiffsraums von vorn bis hinten liegt eine Eisenbahn, und ein Wagen auf derselben bringt die zu beiden Seiten vertheilten Güter bis unter das Luck, von wo dieselben durch den Krahn gefafst und gehoben werden. In gröfsern Häfen genügt dieses aber nicht, da die Güter nicht nur unmittelbar daneben auf das Ufer gestellt, sondern gleich bis unter die Verdachung der Schuppen, oder vielleicht auf Eisenbahnwagen oder andre Wagen weiter gefördert werden sollen. Hierzu sind bewegliche Dampfkrahne vorzugsweise geeignet. Sie stehn auf breitspurigen Geleisen unmittelbar neben der Kaimauer und können durch ihre eigne Maschine leicht hin und her bewegt werden. Man stellt sie so, dafs der Ausleger gerade über die Mitte des Lucks trifft, aus welchem die Ladung gehoben werden soll, während er andrerseits unter dem Dach des Schuppens bis in

*) Nach den ältern in den Liverpooler Docks gemachten Erfahrungen stellte sich das Bedürfnifs noch gröfser heraus, nämlich auf 1 Fufs Kai für 44 Last.

diesen hineintritt. In dem Sandthorhafen in Hamburg sieht man eine grofse Anzahl solcher Krahne, die mit überraschender Schnelligkeit eine grofse Anzahl Schiffe entladen oder befrachten, während sie auch die Güter auf die Wagen einer Eisenbahn legen, die zwischen dem Geleise, worauf sie selbst stehn, und dem Schuppen sich hinzieht.

Das Getreide wird meist durch Menschen aus den Schiffen getragen, oder in dieselbe gebracht. Dieses geschieht in Säcken, aus welchen es sogleich ausgeschüttet wird. In neuerer Zeit wendet man aber mehrfach auch Norien oder Eimer an einer Kette ohne Ende an, die es aus dem Schiffsraum heben und es auf Eisenbahnwagen oder Lichterfahrzeuge ausschütten. Ein besonderer Prahm pflegt diese durch Dampf bewegte Maschinerie zu tragen, während beim Befrachten der Seeschiffe die Maschine auf dem Ufer vor dem Speicher steht.

In Marseille hat man auch, angeblich mit gutem Erfolg, versucht, Getreide wie Oelsamen und andre Früchte, sowol aus den Schiffen, wie auf die Speicher durch Luftdruck zu heben. Aus gröfsern Behältern wird die Luft soweit ausgepumpt, dafs der Druck nur noch einer Quecksilbersäule von 13 Zoll entspricht; alsdann treibt die von unten einströmende Luft das Getreide bis etwa 50 Fufs hoch in diese Behälter, aus welchen es alsdann in Rinnen herabfällt.

Eine besondere Erwähnung verdient auch der Holzhandel. Bezieht sich derselbe auf Balken, so dürfen diese nicht auf dem Ufer lagern, weil die Kosten zu grofs sein würden, wenn sie auf das Land, und sodann wieder zum Verladen ins Wasser gebracht werden sollten. In die Häfen gelangen sie wohl nie anders, als dafs sie zu gröfsern Tafeln verbunden angeflöfst werden. Dazu kommt aber noch, dafs das Holz leidet, wenn es stark durchnäfst nicht mit besonderer Vorsicht aufgestapelt wird. Es tritt also das Bedürfnifs von Holzhäfen ein, worin die Flöfse bis zu ihrer Verschiffung sicher liegen können. In manchen Fällen werden solche besonders angelegt, wie dieses zum Beispiel in Memel vor der nördlichen Mündung des König-Wilhelms-Canals geschehn ist. Vor Danzig ist nahe die halbe Breite der Weichsel bis Neufahrwasser mit Flöfsen bedeckt, während solche zugleich in grofser Menge in den Festungsgräben liegen. Sollen

die Balken verschifft werden, so geschieht dieses in den gröfsten Segelschiffen, die Hölzer können indessen nicht durch die Luken auf Deck in den Raum gebracht werden, weil diese nicht so grofs sein dürfen, um ein regelmäfsiges und dichtes Stauen zu gestatten. Es befinden sich daher im Buge des Schiffs und zwar in verschiedenen Höhen mehrere Luken, von denen jedesmal diejenige geöffnet wird, die zunächst über Wasser liegt, und durch welche ein Balken nach dem andern hinein- oder herausgeschoben wird. Indem dabei die Belastung des Schiffes und sonach seine Eintauchung sich ändert, so mufs nach einiger Zeit die bisher benutzte Luke geschlossen und eine andre dafür geöffnet werden. Das Schliefsen geschieht durch eine hölzerne Pforte oder Tafel, die der Schiffsform sich genau anschliefst, von aufsen eingesetzt und von innen durch einen kräftigen Riegel befestigt wird. Die Fuge wird aber sogleich wie die Fugen zwischen den übrigen Planken durch eingetriebenen Werg und darüber gegossenen Pech gedichtet. Es ergiebt sich hieraus, dafs ein Schiff, welches Balken ladet, oder löscht, so frei liegen muss, dafs die Flöfse davor noch hinreichenden Raum finden. Bohlen und Planken sind dagegen meist viel kürzer und da dieselben auf dem Ufer geschnitten werden und trocknen, so werden sie durch die im Deck befindlichen Luken aus- und eingebracht.

Besondere Vorsicht erfordert noch die Unterbringung der mit Petroleum beladenen Schiffe. Wenn die Gefahr der Entzündung in neuster Zeit durch die sorgfältigere Reinigung auch wesentlich vermindert ist, so ist sie doch immer noch so grofs, dafs die möglichste Sicherung geboten bleibt. Kommt eine solche Ladung in Brand, so verbreitet sich das brennende Petroleum über die ganze Wasserfläche des Hafens und entzündet jedes darauf liegende Schiff. Ist der Verkehr mit diesem Product nur mäfsig, so werden die damit befrachteten Schiffe nur an gewifse entlegene Stellen gebracht, wenn dagegen die Zufuhr von Bedeutung ist, so müssen besondere Häfen verbunden mit Magazinen zur Niederlage der Petroleumfässer in der Art eingerichtet werden, dafs wenn auch ein Brand entsteht, die Masse weder auf dem Ufer noch in dem Hafen über die Umschliefsung hinaus fliefsen kann. In welcher Weise ein solcher Hafen abgeschlossen wird, soll später mitgetheilt werden, hier wäre nur hinzuzufügen, dafs nach den, namentlich

in Marseille, gemachten Erfahrungen die Gefahr eines Brandes vorzugsweise beim Umladen der Fässer eintritt, und sonach ist es nöthig, dafs letzteres ausschliefslich in diesen umschlossenen Räumen erfolgt. Die Flufsschiffe oder Lichterfahrzeuge müssen daher im Petroleumhafen befrachtet werden, und ebenso ist auch die Eisenbahn in das Magazin hineinzuführen. Solcher Hafen ist in Geestemünde bereits zur Ausführung gekommen und in Pillau ist die Anlage desselben begonnen.

Vorstehendes bezog sich auf den eigentlichen Güterverkehr. Um die Einführung ansteckender Krankheiten zu verhindern, pflegen die Handelshäfen wohl nicht mit eigentlichen Quarantaine-Häfen verbunden zu sein, von denen nachstehend die Rede sein wird, aber wenn Schiffe aus verdächtigen Häfen einlaufen, müssen denselben dennoch getrennte und besonders bewachte Liegeplätze angewiesen werden.

Sehr wichtig ist in jedem Handelshafen der Ballastverkehr. Die leer einkommenden und zu befrachtenden Schiffe müssen den Ballast auf bequem gelegenen Plätzen am Ufer auswerfen, und die leer ausgehenden denselben von hier einladen können. Diese Plätze dürfen aber von den Anlegestellen, wo das Befrachten und Löschen erfolgt, nicht weit entfernt sein, weil manche Segelschiffe so rank sind, dafs sie ohne Ladung und ohne Ballast kaum in aufrechter Stellung gehalten werden können und sich daher in solchem Zustande nicht weit verlegen lassen. Vielfach treten hierbei in unsern Häfen fortificatorische Rücksichten sehr störend entgegen, und nicht selten wird verlangt, dafs jeder Ballasthaufen, wenn er auch am nächsten Tage von einem ausgehenden Schiff wieder eingenommen werden soll, doch vor Sonnenuntergang beseitigt werden mufs. Wo die Verhältnisse der Art sind, dafs vorzugsweise Güter eingeführt werden und die Ausfuhr vergleichungsweise nur gering ist, wie etwa in Swinemünde, übernimmt die Privat-Industrie die Versorgung der Schiffe mit Ballast. Von den in der Nähe befindlichen Dünenhügeln wurden hier auf beiden Ufern der Swine Eisenbahnen nach dem Strom geführt und zwar auf der östlichen Seite in der Art, dafs die Wagen den Sand unmittelbar in die Schiffsräume ausschütten.

Wichtig ist ferner die Beischaffung von frischem Wasser zur Versorgung der Schiffe, und besonders vortheilhaft ist es,

wenn wie in Bremerhaven die Leitungsröhren neben der Kaimauer liegen, und durch aufgeschraubte Schläuche die Wasserbehälter oder Tanks unmittelbar gefüllt werden können.

In früherer Zeit, als das Anmachen von Feuer auf den im Hafen liegenden Schiffen strenge verboten war, mufsten in den Häfen noch Kochhäuser erbaut werden, worin die Speisen und Getränke für die Mannschaften der Schiffe bereitet wurden. Dieses Verbot ist indessen aufgehoben, seitdem die Dampfschifffahrt seine Innehaltung unmöglich gemacht hat.

Der Kriegshafen unterscheidet sich wesentlich vom Handelshafen dadurch, dafs er nur zur Unterbringung und Ausrüstung der Kriegsschiffe dient, nicht aber für den öffentlichen Verkehr bestimmt ist. Eine vollständige Ausschliefsung des letztern ist bei ihm theils in Betreff der Erhaltung der Disciplin der Mannschaft und theils zur Sicherung der grossen Masse des werthvollen Materials geboten, während andererseits der öffentliche Verkehr in ihm so vielfach gehemmt und erschwert würde, dafs dieser doch keinen gedeihlichen Fortgang gewinnen könnte. In früherer Zeit wurde diese Trennung weniger beachtet, doch hat man sich gegenwärtig von der Nothwendigkeit derselben in allen Fällen überzeugt, wo gröfsere Flotten unterhalten werden. Hiernach gestaltet sich ein Kriegshafen zu einem grofsartigen Etablissement, von dem jeder Theil eine besondere Bestimmung erhält. Die Räumlichkeiten und Anlagen müssen aber in der Art geordnet werden, dafs die Benutzung derselben möglichst bequem und ohne gegenseitige Störung erfolgen kann. Der vordere Theil des Hafens nimmt die in Dienst gestellten Schiffe auf, die zum Auslaufen bereit sind. Zur Seite desselben pflegen die Casernen sich zu befinden. Weiterhin stehn in der Nähe des Hafens die Magazine, welche die für die letzte Ausrüstung der Schiffe erforderlichen Materialien, wie auch Waffen, Munition und Proviant enthalten. Ganz getrennt und wenn nicht vielleicht an einem besondern Bassin, sind am hintern Theil des Hafens die Anlagen zum Neubau und zur Reparatur der Schiffe vereinigt, also vorzugsweise die Hellinge, Trocken-Docks, die Holzvorräthe, daneben auch die Schmieden und verschiedenen mechanischen Werkstätten, nebst den Magazinen der Rohstoffe. Aufserdem müssen Gräben für die Aufbewahrung der Masten, ferner Seil-Spinnereien, Pulver-Magazine, Beamten-Wohnungen,

Lazarethe und dergleichen nicht fehlen. Das ganze Etablissement ist aber mit Festungswerken umgeben, um es gegen Angriffe von der Landseite, und vorzugsweise von der Seeseite zu sichern. Der Kriegshafen bei Cherbourg wird später speciell beschrieben und seine Anordnung mitgetheilt werden.

Die Sicherstellung gegen feindliche Angriffe erfordert eine ganz besondere Vorsicht, seitdem die weit tragenden Geschütze eingeführt sind. Wenn in einem Kriege zwischen civilisirten Völkern ein Handelshafen auch vom Feinde blokirt oder genommen wird, so würde es dennoch heutigen Tages als ein ganz ungerechtfertigter Vandalismus erscheinen, wenn die Speicher und Schiffe zerstört und verbrannt werden sollten. Anders verhält es sich mit der Kriegsflotte und dem Kriegshafen. Die Vernichtung beider wird der Feind sich jedesmal zur Aufgabe machen, sobald sich irgend die Gelegenheit dazu bietet. Die an der Hafenmündung und sonst am Ufer errichteten Festungswerke können dieses aber nicht verhindern, wenn das Etablissement sich in der Nähe der offenen See befindet. Es bleibt daher nur übrig, dasselbe soweit zurückzulegen, dafs es vom Meere aus durch kein Geschofs erreicht werden kann, und am sichersten liegt es, wenn es aufserdem noch durch Gebirge und hohe Ufer von dort her dem Blick vollständig entzogen ist. Es kommt alsdann nur darauf an, das Einlaufen feindlicher Schiffe in den Hafen zu verhindern, was durch Forts, die das Fahrwasser der Länge nach bestreichen, am sichersten zu erreichen ist, wiewohl die in neuster Zeit eingeführten Panzerschiffe auch in dieser Beziehung eine gröfsere Vorsicht bedingen.

Ein ferneres Erfordernifs eines Kriegshafens ist seine leichte Zugänglichkeit und zwar bei allen Wasserständen. Wenn diese Bedingung aber nicht vollständig erreicht werden kann, und etwa der innere Theil des Hafens durch Schleusen geschlossen, also in ein Dock verwandelt werden mufs, so ist wenigstens darauf zu sehn, dafs vor demselben ein hinreichend tiefes, jederzeit zugängliches Bassin sich befindet, das von fortificatorischen Anlagen umgeben ist. Vor diesem darf keine Schleuse liegen, weil dadurch das Ein- und Auslaufen verzögert werden würde. Die Wirksamkeit der ganzen Flotte, wie des einzelnen Schiffs, wird aber wesentlich dadurch verstärkt, wenn der günstige Zeit-

punkt zum Auslaufen ohne Aufenthalt benutzt, und andrerseits, falls eine überlegene feindliche Macht ein schnelles Zurückgehn fordern sollte, die Schiffe bei der Rückkehr in den Hafen sogleich Schutz finden. Die Englischen Kriegshäfen liegen sämmtlich in Meeresbuchten, die zwischen Felsenufern sich mit hinreichender Tiefe soweit in das Land hineinziehn, dafs durch die Forts zu beiden Seiten das Einlaufen feindlicher Schiffe verhindert wird. Ganz dasselbe ist auch in Frankreich bei Brest und Toulon der Fall und der Kriegshafen bei Cherbourg befindet sich hinter dem grofsartigen Steindamm, der die Rhede gegen Wellenschlag sichert, und durch die darauf erbauten drei Forts in Verbindung mit den gegenüber auf der Insel Pelée und auf dem festen Lande aufgeführten Werken, einen feindlichen Angriff wenigstens sehr erschwert. In dem eigentlichen Hafen ist aber ein offener geräumiger Vorhafen von solcher Tiefe angebracht, dafs selbst die gröfsten Schiffe beim Niedrigwasser zur Zeit der Springfluthen darin noch sicher schwimmen, und wenn vor der Mündung desselben diese Tiefe auch nicht vollständig dargestellt war, so wurde dieses durch fortgesetztes Sprengen des Felsengrundes doch beabsichtigt, und vielleicht ist sie schon gegenwärtig soweit erreicht, dafs selbst beim kleinsten Wasserstande die Schiffe ein- und auslaufen können.

Auch in die Niederländischen nur im flachen Lande eingerichteten Kriegshäfen können die Schiffe ohne eine Schleuse zu berühren, so weit gelangen, dafs sie vor den Geschossen der auf der See liegenden Flotte, sowie auch durch die vor- oder seitwärts belegenen Forts gegen Verfolgung gesichert sind. Der Hafen Nieuwen-Diep (Fig. 28) kann nur unter den Kanonen der Forts bei Huisduinen und an der Mündung des Hafens erreicht werden. Von der offenen See ist er etwa eine Meile weit entfernt. Vlissingen liegt hinter den engen Fahrwassern der Mündung der Schelde und über 2 Meilen von der See entfernt. Der Zugang feindlicher Schiffe wird daher auch hier durch die an den Ufern befindlichen Forts verhindert, aber dennoch bildet ein offener, durch keine Schleuse geschlossner Vorhafen den Zugang zu dem eigentlichen Kriegshafen.

Die Anlage einer Schleuse vor einem Kriegshafen ist aber auch in andrer Beziehung höchst bedenklich und gefährlich.

Wenn nämlich die feindlichen Schiffe sich derselben in der Richtung der Hafenmündung soweit nähern könnten, dafs die Thore von den Geschossen zu erreichen wären, so würden dieselben unfehlbar sogleich zerstört und dadurch der Zweck der Schleuse nicht nur in der wichtigsten Zeit vereitelt, sondern aufserdem auch der Zugang zum Hafen gesperrt werden. Wenn also wegen des starken Fluthwechsels der innere Hafen in ein Dock verwandelt werden mufs, und die Schleuse nicht entbehrt werden kann, so ist es nothwendig, diese an eine Stelle zu verlegen, wo sie vor den Geschossen feindlicher Schiffe gesichert ist. Die letzteren müssen daher durch passend gestellte starke Forts verhindert werden, sich soweit zu nähern, dafs sie die Schleuse bedrohn könnten.

Diese Andeutungen mögen in Betreff der Kriegshäfen genügen, für welche die Verbindung mit dem Binnenlande und die Erhaltung der Tiefe in ihren Mündungen eben so wichtig ist, wie für Handelshäfen. In letzter Beziehung findet zwischen beiden kein wesentlicher Unterschied statt, obwohl der Kriegshafen eine sehr grofse Tiefe fordert, da ausgerüstete Linienschiffe nach der ältern Bauart 27 Fufs eintauchen, und selbst dieses Maafs für grofse gepanzerte Schiffe nicht genügt.

Als eine besondere Art von Seehäfen sind ferner die sogenannten Quarantaine-Häfen zu erwähnen. Dieselben dienen zur Aufnahme solcher Schiffe, durch welche die Einführung ansteckender Krankheiten besorgt wird. Neben manchen Handelshäfen, die einen directen Verkehr mit dem Orient oder den Westindischen Inseln vermitteln, sind besondere Liegeplätze für solche Schiffe bestimmt, auf welche die Quarantaine Anwendung findet, wo also die Besatzung und die Passagiere eine gewisse Zeit hindurch an Bord bleiben müssen. Dieses geschieht zum Beispiel bei Cuxhaven, woselbst verdächtige Schiffe aufserhalb des Hafens an einer wenig geschützten Stelle in der Elbe ankern und den Ablauf der vorschriftsmäfsigen Zeit abwarten müssen. An der Ostsee kommen Quarantaine-Anstalten nur ausnahmsweise vor, weil schon im Sunde in dieser Beziehung die nöthige Aufsicht geführt wird. Zur Zeit des ersten Erscheinens der Cholera, im Jahr 1831, sollten aus den Preufsischen Häfen die verdächtigen Schiffe auf andere Liegeplätze verwiesen werden, bevor jedoch diese eingerichtet waren, hatte die Krankheit sich

bereits so weit verbreitet, dafs es der Absperrung nicht mehr bedurfte.

Sehr zweckmäfsig ist der Quarantaine-Hafen bei Marseille eingerichtet, woselbst die lebhafte Verbindung mit dem Orient eine Anlage dieser Art besonders nöthig machte. In einem Abstande von etwas mehr als einer halben Deutschen Meile vom Hafen liegen nahe neben einander die beiden kleinen felsigen Inseln Ratoneau und Pomégue, die zusammen auch der Frioul genannt werden. Ein Steindamm ist durch den schmalen Meeresarm, der sie trennt, hindurchgeführt und in dieser Art sind Liegeplätze für die Quarantaine-Schiffe gewonnen. Damit diese jedoch beim Drehn des Windes nicht in Gefahr kommen, so ist später auf der östlichen Seite des Arms von der Insel Ratoneau aus noch ein zweiter Damm ausgeführt, der sich bis auf 480 Fufs der Insel Pomégue nähert. Hierdurch ist ein Hafen gebildet, der bei grofser Wassertiefe gegen alle Winde geschützt ist. Die Quarantaine-Anstalt befindet sich auf der letztbenannten Insel, die niemand betreten, oder vielmehr niemand ohne besondere Erlaubnifs verlassen darf. Dieselbe hat auch hinreichende Ausdehnung, so dafs die nach einander auf verschiedenen Schiffen angekommenen Personen getrennt werden können, um die Uebertragung der Krankheit von einer Mannschaft auf die andre zu verhindern.

Eine eigenthümliche Art von Häfen sind noch die Sicherheits- oder Zufluchts-Häfen. Sie werden benutzt, wenn Schiffe während der Fahrt bedeutende Havarien erlitten haben, so dafs sie nicht mehr seetüchtig sind, und vorzugsweise gewähren sie Schutz bei heftigen Stürmen. Die Kunst hat in vielen Fällen zu ihrer Bildung und Einrichtung wenig beigetragen, und es sind oft nur natürliche Buchten, worin die Schiffe mit gröfserer oder minderer Sicherheit vor Anker liegen können. An der Küste von Norwegen befinden sich mehrere derselben, die in früherer Zeit von den Ostseeschiffen auf dem Wege nach England nicht selten angelaufen wurden, wodurch aber gemeinhin die Fahrt übermässig sich verzögerte, weil das Aussegeln sehr grofse Schwierigkeiten bot, und oft Monate hindurch auf den dazu passenden Wind gewartet werden mufste. Der Mangel an innern Verbindungen und sonach die Schwierigkeit, das Schiff mit Lebensmitteln und andern Erfordernissen zur Fortsetzung der Reise zu versehen, machte

aufserdem den Besuch dieser Häfen immer sehr bedenklich, wenn auch unbedingt viele Schiffe darin Rettung gefunden haben.

Dieselbe Benennung Zufluchtshäfen (harbours of refuge) giebt man an solchen Meeren, wo ein starker Fluthwechsel statt findet, auch denjenigen Häfen, in welche die Schiffe zur Zeit des niedrigen Wassers einlaufen können. Wie sehr solche zur Sicherung einer lebhaften Küstenschiffahrt beitragen, haben die traurigen Erfahrungen an manchen Theilen von England hinreichend gezeigt und die Englische Regierung ist seit langer Zeit auf diesen Umstand aufmerksam und hat bereits grofsartige Anlagen ausführen lassen, um geschützte Buchten zu bilden, in welchen die Schiffe während starker Stürme sicher liegen können. Dieses ist auf der südlichen Küste oder am Canal sowol bei Portland, als auch bei Dover, und eben so im Irischen Canale auf der Insel Anglesey bei Holyhead geschehn. Ueberaus dringend bleibt das Bedürfnifs aber noch auf der östlichen Küste von England und zwar von der Schottischen Grenze bis zum Vorgebirge Flamborough, nördlich von der Mündung des Humber, woselbst kein stets zugänglicher Hafen existirt. Es ergiebt sich aus den darüber angestellten Untersuchungen*), dafs auf dieser etwa 150 Seemeilen langen Strecke in den fünf Jahren 1852 bis 1856 nicht weniger als 337 Strandungen vorkamen, wobei die Schiffe total verloren wurden. Aufserdem waren in derselben Zeit hier noch 409 schwere Havarien angemeldet. Diese Verluste hatten vorzugsweise die Kohlenschiffe betroffen, die von der Tyne und aus andern benachbarten Häfen die Kohlen sowol nordwärts, als auch besonders südwärts, also nach London führten. Ohne Zweifel rühren die vielen hier eintretenden Unglücksfälle grofsentheils von der schlechten Beschaffenheit der dabei verwendeten Schiffe, ihrer ungenügenden Ausrüstung und ihrer noch mangelhafteren und unzuverlässigen Bemannung her, aber jedenfalls ist es ein sehr grofser Uebelstand, dafs die höchst frequente Küsten-Schiffahrt auf dieser langen Strecke keinen Hafen findet, der jederzeit offen ist, und bei nördlichen und östlichen Stürmen Schutz bietet. Ueber die Anlage von Sicherheitshäfen an dieser Küste ist schon lange

*) Report from the select Committee on harbours of refuge. 1857.

verhandelt, doch ist man über die Wahl der passendsten Stellen noch nicht einig.

Endlich wären noch die Fischer-Häfen zu erwähnen, die sich von den benannten besonders dadurch unterscheiden, dafs sie keiner grofsen Tiefe, noch ausgedehnter Anlegeplätze und andrer Anlagen für den Verkehr bedürfen. An der Englischen und Französischen Küste sieht man verschiedene, sehr einfach gebildete kleine Häfen dieser Art. Bei uns waren solche bisher nicht vorhanden, da die Fischer theils in gröfsern Häfen zu Hause sind, und alsdann diese zum Unterbringen ihrer Böte benutzten. Grofsentheils aber wird die Fischerei von den Einwohnern der Stranddörfer betrieben, und alsdann werden die Böte gar nicht in einen Hafen gebracht, sondern einfach nach jeder Fahrt auf den Strand gezogen, und zwar wenn es nöthig ist, besonders während des Winters so weit, dafs sie von den Wellen oder dem Treibeis nicht erreicht werden können.

Indem aber die Fischerei keineswegs unmittelbar neben der Küste betrieben wird, sondern die offenen Böte meist mehrere Meilen weit in See gehn, so geschieht es nicht selten, dafs sie bei schnell eintretendem Sturm das Ufer nicht rechtzeitig gewinnen können, vielmehr bei der Rückkehr die heftige Brandung ein sicheres Landen unmöglich macht. Es wird alsdann versucht, einen in der Nähe befindlichen Hafen zu gewinnen, doch glückt dieses häufig nicht, und so geschieht es nicht selten, dafs die Böte mit der Bemannung untergehn. Um dieses zu verhindern ist die Anlage mehrerer Fischerhäfen vorlängs der Preussischen Ostsee-Küste seit einigen Jahren in Aussicht genommen und ein solcher auf der Südseite der kleinen Insel Greifswalder Oie bereits erbaut. Ein Steindamm mit einer Brust-Mauer umgiebt den mit zwei Einfahrten versehenen kleinen Hafen, dessen Tiefe auf 6 Fufs beim mittleren Wasserstande beschränkt ist.

§. 30.

Bezeichnung der Häfen.

Abgesehn von den verschiedenen Bedürfnissen, die sich nach den jedesmaligen Localverhältnissen und nach den besondern Bestimmungen der Häfen herausstellen, giebt es gewisse An-

forderungen, die man, wenn sie auch keineswegs immer vollständig erfüllt werden, doch an jeden Seehafen stellen darf.

Zunächst mufs die Lage desselben dem ankommenden Schiffer sowol bei Tage, als auch vorzugsweise in der Dunkelheit deutlich bezeichnet werden. Nur kleinere Fahrzeuge oder sogenannte Küstenfahrer, die zwischen nahe belegenen Häfen und Strandörtern den Verkehr vermitteln, pflegen in der Nähe des Ufers zu bleiben. Für gröfsere Schiffe ist es theils sicherer, das offne Meer zu halten, weil sie alsdann bei Stürmen weniger der Gefahr ausgesetzt sind, auf das Ufer getrieben zu werden, theils aber verkürzt sich ihr Weg gemeinhin auch bedeutend, wenn sie in gerader Linie nach ihren Bestimmungsorten fahren. In dieser Weise verliert der Schiffer bald das Land aus dem Gesicht, und er mufs dennoch nicht nur den richtigen Weg einschlagen, sondern auch jederzeit wissen, an welcher Stelle desselben er sich befindet, damit er nicht über den Bestimmungsort hinausgeht, oder unerwartet sich einem Ufer zu sehr nähert. Für diesen Zweck sind bei gröfsern Reisen astronomische Beobachtungen unentbehrlich, aber selbst auf kürzerer Entfernung kann leicht die Dauer der Fahrt wegen ungünstiger Winde sich so sehr ausdehnen, dafs die einfache Eintragung des Curses oder das Besteck seine Sicherheit verliert, und alsdann der Schiffer gezwungen ist, durch Breiten- und Längenbestimmung den Punkt aufzusuchen, auf dem er sich befindet. Dieses kann jedoch nur in dem Fall geschehn, dafs wenigstens für kurze Zeit die Sonne durch die Wolken bricht oder ein sternenheller Himmel sich zeigt. Ohne dieses bleibt der Schiffer allein auf sein Besteck verwiesen. Man versteht darunter die Zeichnung des zurückgelegten Weges, der von vier zu vier Stunden, oder nach jeder Wache in die Seekarte eingetragen wird. Die Richtung, in der das Schiff segelt, ergiebt der Compas, doch darf diese nicht mit der Richtung verwechselt werden, in der das Schiff liegt, denn es treibt oft ziemlich stark seitwärts, und man mufs also aus dem Kielwasser, oder dem sehr kenntlichen Strich, der sich unmittelbar hinter dem Schiff auf dem Wasser zeichnet, die Richtung entnehmen, in der dasselbe sich wirklich bewegt. Diese verbesserte Richtung wird mittels eines Parallel-Lineals nach den Windrosen, von denen sich meist mehrere auf derselben Charte befinden, in diese eingetragen.

Die Geschwindigkeit des Schiffs oder die Fahrt wird auch gegenwärtig noch meist mit dem gewöhnlichen Log gemessen. Dasselbe ist bereits im II. Theil dieses Handbuchs § 15 beschrieben, es mufs aber noch hinzugefügt werden, dafs die Knoten in der Logleine 50 Fufs von einander entfernt sind, und dafs die Zeiten auch gegenwärtig noch selbst auf grofsen Dampfschiffen nur nach einer Sanduhr gemessen werden, die in einer halben Minute ausläuft. Jeder einzelne Knoten bezeichnet also einen Weg von 50 Fufs in der halben Minute, oder von 6000 Fufs, das heifst einer Seemeile, in der Stunde. Die Länge des in vier Stunden zurückgelegten Weges ist also sehr einfach zu finden und in die Charte einzutragen. Wenn die Messungen sorgfältig gemacht und eingezeichnet werden, auch der Weg sich nicht etwa durch anhaltendes Laviren gegen conträren Wind sehr verlängert, so pflegt das Besteck während einiger Tage zur Orientirung zu genügen. Bei längern Fahrten und wenn sich nicht Gelegenheit bietet, durch astronomische Beobachtungen die Zeichnungen zu berichtigen, oder wenn vollends im heftigen Winde lange lavirt werden mufs, oder starke Meeres-Strömungen vorkommen, die das Schiff weit vertreiben, so läfst sich die Ortsbestimmung in dieser Art nicht mehr mit Sicherheit machen, und es bleibt ungewifs, vor welchen Ufern und wie nahe denselben man sich vielleicht schon befindet.

In manchen engern und weniger tiefen Fahrwassern bietet alsdann noch das Loth (§ 12) einigen Anhalt, indem die Seekarten nicht nur die Tiefen, sondern auch die Beschaffenheit des Grundes angeben. Um das Loth indessen mit Sicherheit benutzen zu können, darf das Schiff sich nur langsam bewegen, man mufs also das Segelschiff in den Wind laufen lassen, oder das Dampfboot anhalten. Als ich von Lissabon nach Southampton fuhr, stellte sich bei der Abfahrt von Vigo ein starker Nebel ein und dieser verliefs uns während der folgenden vier Tage nicht wieder. Im Biscajischen Meerbusen war keine Gefahr, als wir aber, ohne ein Ufer gesehn, oder eine Ortsbestimmung gemacht zu haben, in den Canal eingelaufen waren und der Nebel auch hier nicht wich, so blieb das Loth der einzige sichere Wegweiser und jede Stunde mufste das Dampfboot angehalten, das Loth ausgeworfen und der Boden, den es heraufbrachte, sorgfältig untersucht werden.

Wenn unter solchen Verhältnissen oder auch bei heiterer Luft, während das Besteck unsicher geworden ist, plötzlich ein Ufer sichtbar wird, so kommt es darauf an, dieses sogleich zu erkennen, um darnach die weitere Fahrt im richtigen Curse fortzusetzen. Die Seekarten enthalten zu diesem Zweck eine grofse Anzahl von Ansichten der Ufer, wie sie von der Seeseite aus erscheinen, und es sind darauf sehr vollständig alle Gegenstände angegeben, wie Gebirge, Dünen, Waldungen, Windmühlen und andre höhere Gebäude, welche die einzelnen Punkte kenntlich machen und von andern unterscheiden. Auch legt der erfahrne Seemann grofses Gewicht darauf, aus dem Gedächtnifs jedes Ufer sogleich zu erkennen, welches er vor sich sieht. In früherer Zeit galt diese Kenntnifs (nach der Holländischen Benennung auch bei uns Landvertoonung genannt) für eines der wichtigsten Erfordernisse eines Schiffs-Capitäns. Nichts desto weniger ist das Ansehn einer Küste doch in vielen Fällen nicht so entscheidend, dafs keine Verwechselung möglich sein sollte, und namentlich ist dieses bei der weitern Ausdehnung des Verkehrs in neuerer Zeit viel schwieriger, als es früher war, weil der Schiffer häufig in fremde Gegenden kommt, die er noch nie gesehn hat. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, in gewissen Entfernungen recht auffallende Bezeichnungen anzubringen, die sogleich sicher erkannt und nicht mit andern verwechselt werden können. Dieses sind die sogenannten Landmarken, die man zum Unterschiede von den Leuchtthürmen, die gleichfalls als solche dienen, auch Tagemarken nennt, wenn sie während der Nacht nicht erleuchtet werden. Es sind theils thurmähnliche Bauwerke von pyramidaler, cylindrischer oder andrer Form, theils nur grofse Gitter, an starke Pfähle befestigt, die verschiedene einfache und zusammengesetzte Figuren darstellen.

Diese Marken sind indessen nur bei Tage sichtbar. Um die Küste während der Nacht zu bezeichnen, müssen weit reichende Leuchtsignale angewendet werden. Dieses sind die Leuchtthürme, und zwar die Küstenfeuer. Verschieden davon sind die Hafenfeuer, die nur in geringern Entfernungen sichtbar sein dürfen, und allein den Zweck haben, die Eingänge in die Häfen, oder auch vielleicht einzelne besonders enge Fahrwasser zu markiren. Jene müssen soweit tragen, dafs, bevor der Schein

eines Feuers in der Nähe des Ufers verschwindet, schon das nächste sichtbar wird. Die Englische und die Französische Küste sind grofsen Theils so vollständig erleuchtet, dafs man bei klarem Wetter zwei und sogar drei Feuer gleichzeitig erblickt. Diese müssen aber so verschieden sein, dafs man sie nicht verwechseln kann. Letzteres ist dringend nothwendig, weil ein solcher Irrthum die gröfste Gefahr veranlassen würde. Selbst die auffallendste Verschiedenheit des Lichts wird bei stürmischer Witterung und Regen zuweilen nicht bemerkt, weil die Feuer alsdann meist verdunkelt sind und nur ausnahmsweise während kurzer Zeit wahrgenommen werden können. Einst strandete nördlich von Pillau ein nach Danzig bestimmtes Schiff, weil der Capitain das Pillauer Feuer für das Helaer gehalten hatte. Aehnliche Verwechselungen sind nicht selten im Canal vorgekommen.

Um die nöthigen Abwechselungen der Feuer darzustellen, hatte man im Anfange dieses Jahrhunderts vielfach gefärbtes Licht angewendet, indem die Laternen mit rothen, grünen, auch wohl noch andern Scheiben versehn waren. Es zeigte sich jedoch bald, dafs das Licht hierdurch aufserordentlich geschwächt wurde, und aufserdem trat dabei noch der grofse Uebelstand ein, dafs die Atmosphäre zuweilen die Farben wesentlich ändert. So nimmt z. B. das weifse Licht im Nebel die rothe Färbung an, während das grüne Licht alsdann weifs erscheint. Verwechselungen konnte daher hierdurch nicht vorgebeugt werden, im Gegentheil wurden sie sogar durch die verschiedenen Färbungen veranlafst, und zwar geschah dieses gerade unter solchen Umständen, wo die deutliche Bezeichnung der Küsten am nothwendigsten war, weil der Nebel die unmittelbare Erkennung derselben verhinderte. Man ist deshalb von der Anwendung farbiger Scheiben und Cylinder bei Küstenfeuern meist zurückgekommen und nur die Hafenfeuer haben ziemlich allgemein rothes Licht erhalten, um beim Einsegeln, wobei das Schiff ihnen schon sehr nahe ist, mit jenen nicht verwechselt zu werden.

Demnächst werden zuweilen auch zwei Thürme nebeneinander gestellt, die in gleicher Art erleuchtet sind, oder man versieht auch wohl einen Thurm mit zwei Feuern, von denen eines bedeutend höher, als das andre brennt. Die erste Anordnung bietet ein sehr sicheres Unterscheidungszeichen, wenn

nicht etwa in der durch beide Feuer gezogenen geraden Linie das Schiff sich befindet, denn alsdann wird von diesem aus nur eins gesehn. Die Anbringung von zwei Feuern in verschiedenen Höhen ist aber sehr bedenklich, da in weiter Entfernung allein das obere gesehn wird, und ein Irrthum alsdann unvermeidlich ist.

Vorzugsweise werden in neuerer Zeit die Leuchtthürme dadurch sicher bezeichnet, dafs nur einzelne mit festem und unverändertem Feuer versehn sind, die andern dagegen abwechselnd Licht und Dunkelheit, oder verstärktes und schwaches Licht zeigen. Die Perioden, in welchen der Wechsel erfolgt, können von wenigen Secunden bis zu einigen Minuten ausgedehnt werden. Hierdurch bietet sich Gelegenheit, jedes Feuer kenntlich zu machen, und der Schiffer, dem das Verzeichnifs aller Feuer in derselben Reihenfolge vorliegt, wie er sie bei hinreichender Annäherung an das Ufer sieht, wird selbst bei ungünstiger Witterung, sobald er eins erblickt, nicht leicht zweifelhaft sein, welches es ist. Man hört oft von unsern Schiffern die Aeufserung, dafs wenn sie durch widrige Winde in der Nordsee lange aufgehalten sind, sie der Englischen Küste während der Nacht sich zu nähern wünschen, weil sie alsdann sich am sichersten orientiren. Bei heftigen Stürmen und Schnee oder Regen tritt freilich zuweilen der Fall ein, dafs man nur während weniger Secunden eine freie Aussicht auf eine kleine Küstenstrecke gewinnt, und wenn man alsdann ein Feuer wahrnimmt, so bleibt es ungewifs, ob es ein festes oder ein veränderliches war. Durch angestrengte Aufmerksamkeit und vorsichtige Wahl des Curses gelingt es aber meist in diesem Fall, ehe eine wirkliche Gefahr eintritt, das Feuer sicher zu erkennen.

Diese Landmarken und Leuchtthürme haben nur den Zweck, die Küste im Allgemeinen zu bezeichnen. Der Schiffer wird an ihnen erkennen, ob er sich in der Nähe des Hafens befindet, in den er einlaufen will, sie genügen aber keineswegs, um ihn zwischen den Sandbänken oder sonstigen Untiefen, die gemeinhin vor den Häfen liegen, sicher in dieselben hinein zu leiten. Wo solche Untiefen vorkommen, müssen dieselben besonders bezeichnet, oder das tiefe Fahrwasser in andrer Weise markirt werden, und zwar eben sowol bei Tage, wie bei Nacht, wenn nicht etwa

das letztere zu schwierig ist, und deshalb das Einlaufen während der Nacht überhaupt nicht statt findet.

Von den Hafenfeuern ist bereits bemerkt worden, dafs man ihnen zur Unterscheidung von den Küstenfeuern gefärbtes Licht zu geben pflegt. In den Französischen Häfen ist dieses allgemein üblich, in Swinemünde und Neufahrwasser ist es gleichfalls eingeführt. Diese Feuer befinden sich nur auf kleinern Leuchtthürmen, weil sie nicht weit sichtbar zu sein brauchen, und letztere stehn am passendsten unmittelbar auf dem Kopf des am weitesten vortretenden Hafendamms, so dafs das Schiff, welches während der Nacht einläuft, dicht neben ihnen die Mündung des Hafens sicher treffen kann.

Um das Fahrwasser zwischen den Untiefen vor der Mündung zu bezeichnen, dienen gemeinhin die sogenannten Richtbaaken. Dieses sind meist hohe Rüstungen, die noch durch daran befestigte Rahmen von verschiedner Form bezeichnet werden, damit man die vordere von der hintern sicher unterscheiden kann. Sie werden so gestellt, dafs die durch sie gezogene gerade Linie in die Mittellinie des Fahrwassers fällt. Der ankommende Schiffer trifft also das letztere, wenn er das Schiff in diese Linie bringt und es dauernd darin erhält. Zuweilen errichtet man aufser den beiden Richtbaaken noch eine dritte, die sogenannte Winkbaake, oder versieht eine der ersten mit der nöthigen Vorrichtung, dafs sie als solche dienen kann. Die aufrecht stehende Ruthe mit der daran befestigten Flagge wird nämlich nach der rechten oder linken Seite geneigt, wenn der Curs in derselben Richtung geändert werden mufs. Diese Signale sind namentlich nothwendig, wenn das Fahrwasser nicht ganz gerade ist, wenn also das einlaufende Schiff an einzelnen Stellen nach der rechten oder linken Seite sich von der Baakenlinie etwas entfernen mufs.

Wenn man die Richtbaaken mit Laternen versieht, so bezeichnen sie auch in der Dunkelheit das Fahrwasser. Haben die Untiefen, und folglich auch die dazwischen liegenden engen Fahrwasser solche Ausdehnung, dafs ihre Bezeichnung vom Ufer aus unmöglich wird, so müssen feste oder schwimmende Baaken auf oder zwischen diesen Untiefen angebracht werden, und will man dieselben auch in der Dunkelheit sichtbar machen, so werden sie entweder in Leuchtschiffe oder in kleine frei stehende

Leuchtthürme verwandelt. In beiden Fällen müssen die Wärter sich stets darauf befinden. Diese kleinen Leuchtthürme, die in neuster Zeit mehrfach an der Englischen und Französischen Küste ausgeführt sind, und nur auf eingeschrobenen eisernen Stangen ruhn, also von den Wellen nicht getroffen werden, verdienen unbedingt den Vorzug vor den Leuchtschiffen, weil letztere bei schweren Stürmen zuweilen ins Treiben kommen, auch im Winter in den Hafen gebracht werden müssen. Gerade in der Zeit, wo das einlaufende Schiff ihrer am meisten bedarf, sind sie alsdann nicht am Platz, oder sie liegen vielleicht gar an einer falschen Stelle, so dafs sie selbst Veranlassung geben, dafs das Schiff auf Untiefen aufläuft. Nichts desto weniger darf man jene Leuchtthürme nur anwenden, wo keine gröfsern Eisschollen vorbeitreiben. An der Ostsee haben sie daher nicht Eingang finden können.

Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs auch durch ein einzelnes Feuer, und zwar vom Ufer aus, ein entferntes Fahrwasser noch sicher bezeichnet werden kann, wenn dasselbe ganz gerade und nicht gar zu enge ist. Namentlich geschieht dieses in dem Fall, wenn zu beiden Seiten desselben Klippen liegen, von denen das Schiff abgehalten werden mufs. Man wirft nämlich durch Spiegel oder Prismen die sämmtlichen Strahlen des Lichts auf einen sehr kleinen Theil des Horizonts, der genau in der Richtung des zu verfolgenden Weges liegt. Das ankommende Schiff segelt aufserhalb des gefährlichen Fahrwassers in die Linie desselben soweit ein, bis das Licht erscheint, und nunmehr wird die Richtung nach dem letztern inne gehalten. Sollte das Licht wieder verschwinden, so ist dieses ein Zeichen, dafs man das Fahrwasser verlassen hat, und es mufs alsdann sogleich wieder eingelenkt und in dem beleuchteten Raum die Fahrt fortgesetzt werden. Diese Bezeichnungsart ist indessen nur in wenigen Fällen angewendet worden. Später wird hiervon die Rede sein.

Um ein enges Fahrwasser in seiner ganzen Ausdehnung und mit allen Krümmungen, die es vielleicht hat, scharf zu markiren, bedient man sich der Tonnen, die wegen ihrer Form auch wohl Bollen genannt werden. Es sind grofse kegelförmige Körper, aus hölzernen Stäben wie Fässer zusammengesetzt und

mit dicht schliefsendem Boden versehn, damit sie nicht nur schwimmen, sondern auch über das Wasser vorragen. In neuerer Zeit werden sie vielfach aus Eisenblech angefertigt. An der Spitze, die sich schon von selbst nach unten kehrt, befindet sich eine Kette, die an einem schweren Stein befestigt ist. Letzterer liegt auf dem Grunde, und die Tonne kann sich daher nur soweit von der Stelle, wo der Stein versenkt ist, entfernen, als die Länge der Kette dieses gestattet. Bei stark wechselndem Wasserstande, also bei bedeutendem Fluthwechsel, wird die Tonne, die zur Zeit des höchsten Wassers noch sichtbar bleiben mufs, bei kleinem Wasser leicht weit seitwärts treiben, also nicht mehr den Rand des Fahrwassers bezeichnen. Es geschieht auch wohl, dafs alsdann die Stelle, auf der sie liegt, beinahe trocken wird, und in diesem Fall ist sie grofsen Beschädigungen ausgesetzt, weil sie zeitweise von den Wellen wiederholentlich auf den Grund gestofsen wird. Hiernach ist der Gebrauch der Tonnen an solchen Fahrwassern, wo Fluth und Ebbe einen starken Wechsel des Wasserstandes veranlassen, viel beschränkter, als an den Ostsee-Häfen. Aufserdem sind die Tonnen bei heftigem Seegange nicht sichtbar, und zwar besonders, wenn die Wellen an den Untiefen, die man bezeichnen will, stark branden. Sie sind alsdann grofsentheils vom Wasser und vom Schaum überdeckt, so dafs man nur ausnahmsweise und nur augenblicklich einzelne daraus hervortreten sieht. Gerade in dieser Zeit, wo der Schiffer ihrer Leitung am meisten bedarf, versagen sie also den Dienst, besonders wenn sie nur kleine Dimensionen haben. Dafs sie in dunkeln Nächten und bei dichtem Nebel nicht wahrgenommen werden können, bedarf kaum der Erwähnung.

Damit der Schiffer über die Lage des Fahrwassers nicht in Zweifel bleibt, sobald er eine Tonne sieht, ist es allgemein üblich, die rechtseitigen anders zu färben, als die linkseitigen, und zwar sind die einen weifs und die andern schwarz oder roth. Auf welcher Seite diese und jene liegen, ist zwar nicht von einer allgemein gültigen Regel abhängig, nichts desto weniger lagen bisher fast jedesmal die weifsen Tonnen auf derjenigen Seite, auf der die Hafenstadt sich befindet. Gegenwärtig ist vielfach vorgeschlagen worden, vor allen Häfen die Tonnen so zu legen, dafs der ankommende Schiffer die weifsen Tonnen auf der rechten

und die schwarzen auf der linken Seite behält. Um den Schiffer darauf aufmerksam zu machen, dafs er in das enge Fahrwasser einläuft, wird aufserhalb desselben und zwar in der durch die Baaken bezeichneten Linie noch eine besonders grofse Tonne, die Aufsentonne, verlegt, deren Quadranten oder Sextanten abwechselnd roth oder schwarz, und weifs angestrichen sind. Beim Ansegeln des Hafens verfolgt also der Schiffer die Baakenlinie, die er bei klarer Luft schon aus weiter Ferne erkennen kann. Er trifft alsdann auf seinem Wege die Aufsentonne, die ihm anzeigt, dafs er sich nunmehr vor dem engern Fahrwasser befindet, und alsdann mufs er so steuern, dafs die weifsen Tonnen auf der einen, und die schwarzen auf der andern Seite bleiben.

Seetonnen oder Buoyen haben häufig noch einen andern, ganz verschiedenen Zweck, man legt sie nämlich auch auf einzelne Untiefen aufserhalb der bezeichneten Fahrwasser, und zwar oft noch weit in die See hinein, namentlich auf hohe Sandbänke und vorzugsweise auf die am weitesten vortretenden Ecken derselben, ferner auf isolirte Klippen und auf die Wracke gestrandeter Schiffe, wenn diese nicht so tief vom Wasser bedeckt sind, dafs sie sicher überfahren werden können. Diese Tonnen werden, wenn sie in der Nähe der Fahrwasser sich befinden, in andrer Weise bezeichnet, damit sie mit jenen nicht verwechselt werden können. Sie werden also etwa mit Fähnchen, Strauchbesen oder dergleichen versehn. Auch geschieht es, dafs man kräftige Glocken darauf anbringt, die schon bei mäfsiger Wellenbewegung oder auch durch die Strömung in Schwingung versetzt werden und alsdann von selbst läuten. Namentlich werden hierdurch isolirte Klippen bezeichnet, vor denen die vorbeifahrenden Schiffe gewarnt werden sollen. Bei ruhiger See und wo keine starke Strömung stattfindet, hört indessen dieses Läuten auf, und im dichtem Nebel, der meist bei sehr schwachem Winde eintritt, werden die Schiffe gleichfalls nicht gewarnt und bleiben der Gefahr des Strandens ausgesetzt. Auf der Klippe Bellrock, vor der Mündung des Tay, fünf Deutsche Meilen von der östlichen Küste von Schottland entfernt, befand sich in früherer Zeit eine solche Glocke. Gegenwärtig steht darauf ein Leuchtthurm, auf welchem aber auch, wie auf vielen andern, die ähnlich situirt sind, während starker Nebel in kurzen Zwischenzeiten geläutet wird.

Die von Wellen und Strömung in Thätigkeit gesetzten Glocken waren die ersten Anfänge der akustischen Signale, die man dem Schiffer gab. Später versah man manche Leuchtthürme mit grofsen Glocken, die im Nebel oder bei starkem Schneefall, also wenn die Feuer nicht sichtbar waren, in kurzen Zwischenzeiten geläutet wurden. Um den Schall aber in einer Richtung besonders zu verstärken, hing man die Glocken zuweilen in die Brennpunkte grofser gufseiserner Paraboloide. In neuster Zeit hat man namentlich in Nord-Amerika, wo das Bedürfnifs wohl am gröfsten war, diese Nebel-Signale wesentlich verstärkt, so dafs sie meilenweit hörbar sind. Entweder werden bei starkem Nebel in bestimmten kurzen Zwischenzeiten Kanonen abgeschossen oder andre laut schallende Explosionen veranlafst, oder Dampfmaschinen lassen mächtige Trompeten und ähnliche Instrumente erklingen. Bei der schnellen Verbreitung dieser Signale ist ihre Wirksamkeit nicht mehr zu bezweifeln, obwohl die darüber bekannt gewordenen Wahrnehmungen in manchen Fällen nicht günstig lauten. Im folgenden werden die akustischen Signale, eben so wie die optischen, eingehend behandelt werden.

Endlich wären diejenigen Signale zu erwähnen, welche dem ankommenden Schiffer die Tiefe des Fahrwassers und die Richtung des Stroms angeben. Jene sind bei uns nur in solchen Häfen eingeführt, wo die Tiefe sehr mäfsig ist, und es also darauf ankommt, sie genau zu kennen. Im Regierungs-Bezirk Stralsund sind solche auf jeder Lootsen-Station vorhanden.

In Häfen, vor welchen ein starker Fluthwechsel statt findet, pflegt man auch den Wasserstand im Allgemeinen zu signalisiren. Der Schiffer wird freilich durch die Seekarten und Fluthtabellen in den Stand gesetzt, die Wassertiefen, die er in den Fahrwassern vor den Häfen in der Zeit des Ansegelns vorfindet, selbst zu berechnen. Die Englischen, wie die Französischen Seekarten geben nämlich für jeden Hafen die Sohlen der Fahrwasser, und die Gründe und Felsen daneben unter und über dem Niedrigwasser bei Springfluthen an, sowie auch den Fluthwechsel bei Springfluthen. Aus den Fluthtabellen kann man aber mit Sicherheit entnehmen, wie hoch das Wasser in jeder Stunde jedes Tages und in jedem einzelnen Hafen über diesem Horizont steht.

Nichts desto weniger werden dennoch meist die Wasserstände mehr oder weniger scharf signalisirt. Besonders in solchen Häfen, deren Mündungen zur Zeit des Niedrigwassers gar nicht durchfahren werden können, pflegt man durch Aufbringen eines Signals oder bei Nacht durch Anzünden des Hafenfeuers den Eintritt der halben Fluth zu bezeichnen, während beim Eintritt der halben Ebbe das Feuer und das Signal wieder beseitigt werden.

Wo ein merklicher Fluthwechsel statt findet, ergiebt sich die Richtung des Stroms schon, wenn man nur weifs, ob Fluth oder Ebbe statt findet, die Zeit des Hoch- und Niedrigwassers kennt man aber aus den Fluthtabellen. Besondere Signale sind also in solchen Fällen entbehrlich. An der Ostsee verhält es sich anders, die Wasserstände und die Strömungen sind vorzugsweise von den Winden, also von zufälligen Umständen abhängig und ändern sich oft sehr schnell. In manchen Häfen, wie zum Beispiel in Pillau, ist es üblich, durch eine Flagge auf dem Leuchtthurm die Richtung des Stroms zu signalisiren.

Es ergiebt sich aus den vorstehenden Mittheilungen, dafs es nicht leicht ist, diese Signale, welche in den verschiedenen Häfen keineswegs übereinstimmen, immer richtig zu deuten und falsche Auffassungen zu vermeiden. Sie sind indessen weniger für den fremden Schiffer bestimmt, als vielmehr vorzugsweise für die Lootsen, die ihre Bedeutung genau kennen und sie sorgfältig beachten, um darnach die Schiffe sicher einzubringen, oder vielleicht, wenn die Umstände nicht günstig sind, die Schiffe vor dem Hafen bis zum geeigneten Zeitpunkt zurückzuhalten.

Was die bauliche und sonstige technische Einrichtung dieser Signale betrifft, so wird davon später die Rede sein, hier sollte nur mitgetheilt werden, welche Anlagen nöthig sind, um einen Hafen, nebst seiner Mündung und dem dahin führenden Fahrwasser sicher auffinden zu können.

In unsern Häfen ist es üblich, dafs die Lootsen den ansegelnden Schiffen entgegenfahren und dieselben besetzen. Der Lootse übernimmt alsdann die Führung, und soweit Lootsenzwang besteht, mufs der Schiffer denselben nicht nur an Bord nehmen, sondern ihm auch die Leitung unbedingt überlassen. Die sämmtlichen oben erwähnten Seezeichen, welche sich auf das Einlaufen in den Hafen beziehn, werden alsdann vollständig benutzt und

eine Verwechselung derselben, die zu Unglücksfällen führen könnte, ist kaum noch denkbar.

Zuweilen wird die Verwendung der Lootsen noch weiter ausgedehnt. In dem Canal zwischen England und Frankreich, so wie vor andern Englischen Küsten, kreuzen die Lootsen der verschiedenen Gesellschaften und bieten sich jedem vorbeisegelnden Schiffe an, dessen Leitung sie unter willkürlichen Forderungen nach jedem beliebigen Englischen oder fremden Hafen übernehmen. Ueber diese Einrichtung ist vielfach und selbst im Englischen Parlament Klage geführt worden. Der ankommende Schiffer trifft bei guter Witterung zwar sehr sicher die Lootsen schon in weiter Entfernung auf offner See, im Sturme und Nebel dagegen, wenn er ihrer Hülfe am meisten bedarf, sucht er sie vergebens. Ueberträgt er aber einem derselben die Führung nach einem entfernteren, also etwa nach einem Niederländischen Hafen, so übernimmt derselbe gegen hohen Lohn zwar unbedingt dieses Geschäft, aber gewöhnlich giebt sich bald zu erkennen, dafs er solcher Aufgabe durchaus nicht gewachsen ist und die erforderliche Localkenntnifs ihm mangelt. Auf Schiffen, die von unterrichteten Capitainen geführt und mit den nöthigen nautischen Hülfsmitteln versehn sind, wie dieses auf den Deutschen Handelsschiffen allgemein der Fall ist, wird demnach niemals ein Lootse zu solchem Zweck angenommen. Anders verhält es sich auf beschränkteren Revieren, wie zum Beispiel vor der Elbe und Weser, wo die Lootsen von Hamburg, Bremen, Helgoland und manchen Dänischen und Oldenburgischen Orten kreuzen, und hier hinreichend bekannt sind, um die Führung des Schiffs nach jedem Hafen dieses Reviers zu übernehmen.

§. 31.

Das Seeschiff.

Obwohl der Schiffbau und die Schiffahrtskunde zur Wasserbaukunst nicht gehören, so mufs dennoch der Hafenbaumeister beide soweit kennen, dafs er das Bedürfnifs der Schiffahrt zu beurtheilen im Stande ist. Einige Bekanntschaft mit diesen Gegenständen ist zwar bei längerem Aufenthalt in einem Seehafen

leicht zu erwerben, aber vielfach wiederholt sich der Fall, dafs Baumeister, die bisher nur an oberländischen Strömen oder Canälen beschäftigt waren, nach Seehäfen versetzt werden, oder gutachtliche Aeufserungen über Anlagen in solchen abzugeben haben, und alsdann pflegt der Mangel an Kenntnifs der Seeschiffahrt sehr auffällig sich zu zeigen. Leicht werden Bauwerke für passend erachtet, welche den Schiffsverkehr wesentlich erschweren oder ganz unmöglich machen. Es dürfte daher angemessen sein, sowol über die Construction, als über die Ausrüstung und die Manöver der Seeschiffe einige Mittheilungen zu machen.

Die verschiedenen Formen, die man dem Rumpf des Schiffs nach Maafsgabe seiner Bestimmung und seiner Gröfse, sowie auch vielleicht wegen der nothwendigen Beschränkung des Tiefgangs giebt, kommen hier nicht in Betracht. Es wäre nur darauf aufmerksam zu machen, dafs für schnelle Fahrten die Schiffe scharf gebaut sein müssen und dadurch ihre Stabilität leicht so leidet, dafs ohne Ballast, oder ohne Ladung sie nicht sicher in aufrechter Stellung zu halten sind. In dieser Beziehung müssen die Ballastplätze in Handelshäfen so angeordnet werden, dafs dieselben den Ladeplätzen möglichst nahe liegen und von diesen aus in ruhigem Wasser erreicht werden können.

Man nennt diejenigen Schiffe rank, die wenig Stabilität haben, die sich also leicht seitwärts überneigen. Die entgegengesetzte Eigenschaft wird durch das Wort steif bezeichnet. Das starke Schwingen der Schiffe um ihre Längenachse nennt man das Rollen oder Schlenkern, wogegen man unter Stampfen das Schwingen um die Querachse versteht. Letzteres ist besonders nachtheilig, weil dabei die Masten und Stengen leicht lose werden, dieses tritt aber vorzugsweise auf Schiffen ein, die so kurz sind, dafs sie nur eine einzige Welle unter sich haben.

Die Verbindungen in der Zusammensetzung eines hölzernen Schiffsrumpfes sind von den im Landbau üblichen wesentlich verschieden. Letztere brauchen nur denjenigen Pressungen zu widerstehn, die im Zustande der Ruhe und bei der ganz unveränderten Lage des Gebäudes eintreten können. Das Schiff dagegen neigt sich beim Wellenschlage bald seitwärts und bald nach vorn oder hinten über, es wird bald an einer und bald an

der andern Stelle kräftig gehoben, auch fehlt es nicht an den heftigsten Erschütterungen. Jene Verbindungen, die sich nur auf das genaue Ineinandergreifen und gegenseitiges Umfassen der Holzstücke beziehn, würden daher hier sich lösen. Wenn demnach im Schiffbau allerdings auch Versatzungen, Ueberblattungen und Verkämmungen vorkommen, so wird dabei doch immer auf die möglichst geringste Schwächung der Verbandstücke Rücksicht genommen, und die ganze Verbindung beruht vorzugsweise auf der Anwendung zahlloser Bolzen. Das Schiff erhält hierdurch, einiger Elasticität unerachtet, eine so innige und solide Zusammensetzung, dafs es bei zufälligem starken Anfahren gegen Brücken, Bohlwerke und andre Holz-Constructionen die Balken und Pfähle der letzten zerbricht, oder die Wände in das Ufer hineinschiebt, ohne selbst dabei beschädigt zu werden.

Das Seeschiff ist jedesmal mit einem Kiel versehn und unterscheidet sich dadurch von dem Flufsschiff, das einen ebenen Boden hat. Der Kiel dient theils zur Darstellung eines festen Längenverbandes, indem er mit dem darüber liegenden Kolsem durch Bolzen innig verbunden ist, während zwischen beiden die Spanten hindurchgreifen, die hierdurch in ihrer Lage sicher gehalten werden, theils aber verhindert der Kiel auch, indem er unter den Schiffsboden vortritt, das starke Seitwärtstreiben des Schiffs, und leitet zugleich das Wasser, welches bei der Fahrt verdrängt wird, dem Steuer zu, wodurch dieses an Wirksamkeit gewinnt.

Sowol auf das vordere, als auf das hintere Ende des Kiels werden starke Hölzer mittelst Knieestücken befestigt. Dieses sind die beiden Steven. Der Hintersteven trägt entweder unmittelbar, oder mittelst des daran angebolzten Butensteven das Ruder oder das Steuer. Er spaltet sich oft in seinem obern Theil, indem er den Spiegel umfafst, worin sich meist die Cajüte des Capitains befindet.

Die Wände des Schiffs kann man ihrer Construction nach mit gewöhnlichen Fachwerkswänden vergleichen. Sie bestehn gleichsam aus Stielen, die auf beiden Seiten mit Bohlen verkleidet sind. Diese Stiele sind indessen eigenthümlich geformt und zusammengesetzt. Sie heifsen die Spanten, auch werden sie zuweilen Rippen genannt, weil sie in ihrer Verbindung mit dem

Kiel den Rippen des menschlichen Skeletts ähnlich sind. Sie stellen die Querschnitte des Schiffs dar und bedingen daher die Form desselben. Letztere wird, wie das Project sie für jede Stelle bestimmt, auf den Reifsboden aufgezeichnet, und es kommt alsdann darauf an, das ganze Gebinde hiermit übereinstimmend möglichst solide aus einzelnen Holzstücken zusammenzusetzen. Ein künstliches Biegen dieser starken Hölzer kommt gewöhnlich nicht vor, noch weniger ist es aber zulässig, die nöthige Form durch starkes Ausschneiden darzustellen, weil die Holzfasern nicht durchschnitten werden dürfen. Das Spant, welches eine Curve bilden soll, deren beide Schenkel sich symmetrisch von dem Kiel bis zum Deck erheben, läfst sich daher nur aus krumm gewachsenen Stücken, die man mit der allgemeinen Benennung Inhölzer bezeichnet, zusammensetzen. Eine Verbindung derselben unter sich durch Verzapfung oder Ueberblattung würde nicht entfernt die nöthige Festigkeit bieten. Es bleibt daher nur übrig, sie mittelst seitwärts angebrachter Laschen mit einander durch Bolzen in innigen Zusammenhang zu bringen. Zu diesem Zweck müssen aber die Laschen möglichst weit übergreifen, sie reichen also bis an die nächstfolgenden heran, und so geschieht es, dafs das ganze Spant, vielleicht mit Ausnahme des mittlern Theils, der auf dem Kiel ruht, aus doppelten Inhölzern zusammengesetzt wird. Erhält das Schiff einen flachen Boden, oder ist es sehr stumpf gebaut, wobei die Curven der beiden Schenkel neben dem Kiel in die horizontale Richtung übergehn, so besteht der mittlere Theil des Spantes aus einem geraden oder doch nur wenig gekrümmten Holzstück, welches der Lieger genannt wird. Vorn und hinten, wo der Rumpf schärfer gehalten werden mufs, so wie auch bei allen Spanten eines scharf gebauten Schiffs, in welchem die Seitenflächen am Kiel unter einem stumpfen und zuweilen sogar unter rechtem Winkel zusammenstofsen, mufs dagegen ein Kniestück, das den verlangten Winkel bildet, oder auch wohl ein sogenanntes Piekstück gewählt werden. Dieses ist derjenige Theil eines Stamms, der sich möglichst gleichmäfsig in zwei Aeste spaltet. Die letztern bilden die Anfänge der beiden Schenkel des Spantes. Die Stücke, die sich an sie, oder auch an jenen Lieger ansetzen, sind die sogenannten Auflanger, deren gewöhnlich mehrere übereinander gestellt werden

müssen, um die beabsichtigten Curven in der natürlichen Krümmung der Holzstücke darzustellen.

Zuweilen stehn die Spanten nicht senkrecht auf dem Kiel, insofern letzterer in dem schwimmenden Schiff keine horizontale Lage annimmt, vielmehr nach vorn ansteigt, wodurch der Widerstand im Wasser vermindert wird, theils aber pflegt man auch die Spanten nächst dem Vorsteven stark nach vorn überzuneigen, damit sie im obern Theil des Rumpfes nicht zu weite Zwischenräume zwischen sich frei lassen, auch vermindert sich gemeinhin bei dieser Stellung ihre Krümmung und sie können daher aus geraderen Holzstücken zusammengesetzt werden. Der Abstand je zweier Spanten mifst bei kleinern Schiffen 2 bis 3 Fufs, bei gröfsern ist er geringer, und bei den Schiffen der Kriegs-Marine pflegen die Spanten sich beinahe zu berühren. Das Holz, welches man dazu verwendet, ist bei uns ohne Ausnahme Eichenholz, doch werden in Amerika und in England auch vielfach Schiffe aus den sehr festen Hölzern der südlichen Vereinigten Staaten, wie aus Mahagony oder aus Teakholz gebaut. Auch die Planken und alle sonstigen wesentlichen Theile des Rumpfes bestehn in den Ostseeschiffen aus Eichenholz, nur pflegt man den Kiel aus Buchenstämmen zusammenzusetzen, weil solche bei heftigen Stöfsen weniger leicht brechen, als Eichen.

Wenn die Spanten geformt und in sich verbunden sind, so stellt man sie auf den Kiel auf, in den sie einige Zoll tief eingelassen und verbolzt werden, indem man sie an die bereits aufgestellten Spanten durch übernagelte Latten, so wie auch durch seitwärts angebrachte Streben befestigt. Der Kolsem, oder dasjenige starke Holzstück, welches in der ganzen Länge des Schiffs die Mittelstücke der Spanten und den Kiel überdeckt, wird durch die Spanten hindurch mit dem Kiel verbolzt. Eine andre und zwar sehr sichere Längenverbindung erhält das Schiff durch die Planken und namentlich durch die Berghölzer, die um einige Zolle stärker und meist auch breiter sind, als die Planken, und an die obern Theile der Spanten genagelt werden.

Die Querverbindung wird dagegen durch die Deckbalken dargestellt, die mittelst hölzerner oder eiserner Kniee an die Spanten befestigt werden. Bei Schiffen, die kein Zwischendeck

haben, kommt nur eine Lage Deckbalken vor, sonst giebt es deren zwei, und bei Linienschiffen auch drei.

Die Spanten werden von aufsen mit Planken verkleidet, und diese bilden den wasserdichten Abschlufs des Schiffsraums. Sie sind selbst bei gröfsern Handelsschiffen nicht leicht über drei Zoll stark, sie müssen aber auf die Spanten sich flach auflegen und sonach in der Form des Schiffskörpers gekrümmt werden. Damit sie dabei nicht brechen oder reifsen, so werden sie vor dem Aufbringen und nachdem sie bereits vollständig zugeschnitten sind, entweder gekocht oder in Wasserdampf erhitzt. Letzteres ist vorzuziehn, weil sie dabei weniger leiden. In einen grofsen hölzernen Behälter, der ziemlich dicht geschlossen ist, und der die Stove heifst, werden sie eingeschoben, während der Dampf aus einem Kessel, worin Wasser stark kocht, zwischen sie tritt. Nachdem sie einige Zeit darin gelegen haben, nimmt man sie heraus und bringt sie sogleich auf, indem man sie mittelst Zwingen an beiden Enden befestigt und stark antreibt. Nach dem Erkalten behalten sie die Krümmung, die man ihnen gegeben hatte. Sie werden nur stumpf an einander gelegt, doch sorgt man dafür, dafs eine schwache Fuge nach aufsen geöffnet bleibt, indem sie nur an der innern Seite, also neben den Inhölzern, sich unmittelbar berühren. Sie greifen in die beiden Steven, so wie auch in den Kiel etwas ein und werden an alle Inhölzer mit hölzernen Nägeln, an den Enden aber mit eisernen Bolzen befestigt.

Die Fugen zwischen je zwei Planken, gemeinhin Nathen genannt, werden durch Kalfatern gedichtet und dieses geschieht auch, wenn zufällig eine Planke gerissen sein sollte. Diese Nathen müssen nach aufsen etwas geöffnet sein. Man legt darüber Zöpfe von Werg, oder von aufgezupften Tauen, und treibt diese mit dem Kalfateisen unter starken Hammerschlägen fest ein. Das Kalfateisen ist ein breites und stumpfes Stemmeisen, mit einem oder zwei flachen Rillen versehn, womit es den Zopf fafst und ihn tief in die Fuge eintreibt, ohne ihn zu durchschneiden. Die Fuge darf indessen nicht vollständig gefüllt werden, sie mufs vielmehr noch etwa einen halben Zoll tief offen bleiben und diesen Raum füllt man mit heifsem, daher dünnflüssigem Pech an. Dieses geschieht so vollständig, dafs das

Pech über die Schiffswand vorragt, auch dieselbe vielfach bedeckt. Mit dem Kratzeisen, welches aus einer dreieckigen, ringsumher zugeschärften Stahlscheibe besteht, in deren Mitte ein Stift sich befindet, woran der hölzerne Stiel befestigt ist, wird später die ebene Fläche durch anhaltendes Schaben wieder dargestellt. In dieser Art läſst sich, nachdem der Anstrich mit Oelfarbe oder mit Theer erfolgt ist, keine Fuge mehr erkennen.

Die eisernen Bolzen, von denen die Rede gewesen, bestehn aus cylindrisch gewalzten Eisenstangen, die meist auf der Baustelle selbst in die erforderlichen Längen zerschnitten werden. Gleichzeitig pflegt man sie an den Enden, die in das Holz eindringen, durch starke Hammerschläge etwas zu verjüngen, damit sie um so leichter das vorgebohrte Loch fassen. Das Loch muſs jedesmal einen etwas geringern Durchmesser, als der Bolzen haben, weil letzterer sonst nicht gehörig darin haften würde, doch darf der Unterschied nicht zu groſs sein, weil alsdann die Holzstücke spalten könnten. Wo es darauf ankommt, besonders sichere Verbindungen darzustellen, wie etwa an den Enden der Berghölzer, versieht man die Bolzen auch mit Köpfen an den äuſsern, und mit Oeffnungen an den innern Enden, durch letztere werden alsdann über Unterlagsscheiben Splinte hindurch getrieben. Die übrigen Bolzen erhalten jedoch keine Köpfe und sie gewähren auch ohne solche den Hölzern hinreichende Haltung, da unter den kräftigen Schlägen, wodurch sie eingetrieben werden, das Eisen sich etwas umlegt und dadurch ein schwacher Kopf gebildet wird.

Auf die innere Seite der Spanten wird gleichfalls ein Bohlenbelag aufgebracht, der die Wegerung heiſst. Derselbe verhindert theils, daſs die losen Güter, wie etwa Salz oder Getreide, zwischen die Spanten fallen, vorzugsweise dient er aber dazu, unmittelbar an der äuſsern Verkleidung einen freien Raum darzustellen, damit sich hier das Leckwasser sammeln kann, das mittelst einer Pumpe, die bis auf den Kiel herabreicht, so oft es nöthig ist, entfernt wird. Damit diese alles Sammelwasser aufnimmt, muſs durch gewisse Oeffnungen in den Spanten dafür gesorgt werden, daſs dasselbe aus der ganzen Länge des Schiffs ungehindert zuflieſsen kann. Man pflegt indessen die Wegerung nicht vollständig zu befestigen, vielmehr einen groſsen Theil der

Planken nur lose einzulegen, die, so oft es irgend geschehn kann, ausgehoben werden, damit die Luft freien Zutritt zu den Inhölzern findet und das Stocken derselben verhindert.

Ueber das Deck, das gewöhnlich aus Kiefern-Planken besteht, und gleichfalls gedichtet werden mufs, um das aufschlagende Wasser nicht eindringen zu lassen, so wie auch über den sonstigen Ausbau des Schiffs-Rumpfes bleibt nur zu erwähnen, dafs an verschiedenen Stellen und namentlich an beiden Seiten des Vorder- und des Hintertheils mehrere mit den Spanten fest verbundene Holzstücke über das Deck treten, die vorzugsweise zur Befestigung des Schiffs an die Schiffshalter im Hafen oder an andre Fahrzeuge dienen. Man nennt sie Poller. Zuweilen bestehn sie aus gufseisernen Cylindern, die auf dem Schandeck, oder dem starken Holze befestigt sind, das dem Rahmstücke einer gewöhnlichen Fachwand ähnlich, die Köpfe der Inhölzer und zugleich die Planken überdeckt.

Auf die Construction der eisernen Schiffe braucht hier nicht näher eingegangen zu werden, da dieselbe im Allgemeinen sich an den Holzbau anschliefst. Es wäre nur zu erwähnen, dafs bei diesen die Gefahr des Leckwerdens in Folge des Aufsetzens auf den Grund, oder eines sonstigen Gegenstofses viel gröfser ist, als bei hölzernen Schiffen. Aus diesem Grunde pflegt man sie, besonders wenn sie eine bedeutende Länge haben, durch mehrere wasserdichte Querwände, Schotte genannt, in getrennte Räume zu zerlegen, damit wenn einer von diesen sich mit Wasser füllt, das Schiff auf den andern noch schwimmen kann.

Was die Bewegung der Schiffe betrifft, so ist über die Benutzung des Dampfes zum Betriebe von Ruderrädern oder Schrauben nichts zu erwähnen, indem hierdurch ganz unabhängig vom Winde die Fahrt beliebig begonnen oder unterbrochen, auch jede Wendung ausgeführt werden kann. Dagegen darf die Wirksamkeit und richtige Benutzung der Segel nicht stillschweigend umgangen werden.

Damit das Segelschiff den Wind in grofsen Flächen auffängt und von demselben den kräftigen Druck erfährt, der zur schnellen Bewegung erforderlich ist, so mufs es mit hinreichend hohen und weit von einander entfernten Stützpunkten versehn werden, woran die Segel zu befestigen sind. Zu diesem

Zweck erhält das Schiff einen oder mehrere Maste, und aufserdem bildet man durch einen schrägen Baum, der über den Vordersteven hinaustritt, noch vor dem Schiffskörper gewisse Stützpunkte für die Segel.

Der Mast, ein gerader starker Kiefernstamm, steht mit seinem Fufs in einem kistenartigen Aufbau über dem Kolsem. Man nennt denselben die Spur, und er überträgt den Seitendruck auf die nächsten Spanten. Hätte man die Spur nur durch Ausarbeiten einer angemessenen Vertiefung in dem Kolsem selbst dargestellt, so würde letzterer, der ein sehr wichtiges Verbandstück bildet, theils an sich geschwächt, theils aber auch der Gefahr ausgesetzt sein, dafs bei starkem Seitendruck die Wangen der Oeffnung abspalten. Das obere Ende des Mastes wird an jeder Seite durch mehrere starke Taue, die sogenannten Wanten, gehalten, wozwischen schwächere Taue eingebunden sind, die als Sprossen einer Leiter beim Ersteigen des Mastes benutzt werden. Diese Wanten sind mittelst gewisser Verbindungsstücke, die man Rusten oder Puttings nennt, an der äufsern Seite der Berghölzer und der nächst darunter befindlichen Planken befestigt, sie befinden sich aber etwas hinter dem Mast, so dafs sie den letztern nicht allein in der Querrichtung des Schiffs halten, sondern zugleich sein Ueberneigen nach vorn verhindern. Der Mast bedarf sonach nur noch eines kräftigen Zuges nach vorn, um in allen Richtungen unterstützt zu sein, und diesen erhält er durch ein starkes Tau, welches das Stag genannt wird. Dasselbe ist entweder am Vordersteven, oder wenn das Schiff mehrere Masten führt, am Fufs des davorstehenden Mastes befestigt.

Die Aufstellung der Masten würde indessen bei grofsen Schiffen übermäfsig erschwert werden, wenn dieselben aus einem einzigen Stamm beständen. Man setzt sie daher aus zwei, und den vollen Mast aus drei Stücken zusammen. Ohnfern des obern Endes des untern Theils, von dem bisher allein die Rede war, und welcher im Gegensatze zu den obern Stücken wieder der Mast heifst, bringt man einen Rahmen an, den Mars. Derselbe tritt nach beiden Seiten vor, und wird an den Enden in seiner horizontalen Lage durch die aufwärts verlängerten Wanten gehalten, nachdem diese in einiger Entfernung unter ihm gegen den Mast befestigt waren. In dem Mars befindet sich

unmittelbar vor dem Mast eine angemessene Oeffnung, in welche der Fufs der Fortsetzung des Mastes hineinpafst. Auf den Kopf des Mastes wird dagegen das aus starken Hölzern zusammengesetzte sogenannte Eselshaupt befestigt, das an der vordern Seite gleichfalls mit einer Oeffnung versehn ist. In diese beide Oeffnungen stellt man die Fortsetzung des Mastes oder die Stenge ein, und windet sie auf, worauf sie mittelst eines Durchsteckriegels über dem Mars befestigt wird. Die Sicherung derselben erfolgt in gleicher Weise, wie die des Mastes. Die Wanten gehn aber von dem Mars aus, während das Stag entweder nach dem Mars des davor stehenden Mastes oder nach dem bereits erwähnten Baum gezogen ist, der schräge über den Vordersteven hinausreicht. Der dritte oder der oberste Theil des Mastes, der die Bramstenge heifst, wird in gleicher Weise an die Stenge, wie diese an den Mast befestigt.

Diese Zusammensetzung, die sich leicht lösen läfst, gewährt den Vortheil, dafs man bei starkem Seegang und heftigem Sturm das Schiff wesentlich erleichtern kann, wenn man die Bramstengen herabläfst, und sonach diejenigen Massen, welche vom Schwerpunkt am weitesten entfernt waren, demselben etwas nähert. Besonders wenn das Schiff in hohem Seegange ankert, ist diese Vorsicht von grofser Bedeutung.

Noch müssen einige andre Benennungen erwähnt werden. Der mittlere Mast, der jedesmal der höchste ist, und dem Schwerpunkt des Schiffs am nächsten steht, heifst der grofse Mast und seine Verlängerungen die grofse Stenge und die grofse Bramstenge. Der davor stehende Mast ist der Fock-Mast, mit der Vorstenge und der Vor-Bramstenge. Diese Benennungen werden auch gebraucht, wenn das Schiff nur zwei Masten führt, kommt dagegen noch ein dritter hinzu, welcher jedesmal der hintere ist, so nennt man diesen den Besahn-Mast, und seine Fortsetzungen die Kreuzstenge und die Kreuz-Bramstenge.

Den Masten sehr ähnlich ist der Baum zusammengesetzt, der gewöhnlich mit einer Neigung von etwa 30 Graden gegen den Horizont über den Vordersteven hinaustritt. Der erste Theil desselben, der mit dem Schiffskörper unmittelbar verbunden ist, heifst das Bugspriet, und wird durch starke Taue sowol seit-

wärts gegen die Berghölzer, als abwärts gegen den Vordersteven befestigt, auch aufserdem durch das Stag der vordern Stengen gehalten. Unter dem Bugspriet an dem Vordersteven ist noch das Galion angebracht. Dieses ist ein mit Netzen versehener Rahmen, der zum Niederlegen von Segeln benutzt und häufig noch mit Sculpturen geziert wird. In gleicher Weise, wie der Mast sich durch die Stenge verlängert, so geschieht dieses auch bei dem Bugspriet durch den Klüverbaum, der also den vordersten Stützpunkt für die Segel bildet.

Mögen die Segel dreiseitig oder vierseitig sein, so ist jedes an der oberen, oder an der vordern Seite, zuweilen auch an der untern gegen Bäume oder gegen starke und steif gespannte Taue befestigt, während ihre untern oder hintern Ecken durch Taue angezogen, und in diejenige Stellung gebracht werden, welche der Bewegung des Schiffs und der Richtung des Windes entspricht. Es können hier nur die verschiedenen Arten der Segel im Allgemeinen bezeichnet werden.

Das Raasegel bildet gemeinhin ein Parallelogramm, zuweilen ist aber auch die untere Seite breiter, als die obere. Es ist an den horizontalen Segelstangen oder an den Raaen befestigt. Letztere bestehn aus starken, an beiden Enden gleichmäfsig verjüngten Bäumen, die in ihrer Mitte von den Masten und Stengen getragen werden. Unter jedem Mars befindet sich eine Raa, eine oder zwei derselben sind aber aufserdem an den Bramstengen angebracht. Die daran befestigten Segel werden, wenn sie benutzt werden sollen, herabgelassen und gegen die darunter befindlichen Raaen steif angeholt. Die Taue des untersten Segels werden dagegen an die Relinge oder an die Stiele der Brüstung gebunden, welche das Deck umschliefst. In dieser Weise wird das ganze Segelsystem des vollen Mastes fest gespannt, und um demselben die passende Richtung zu geben, werden die Enden der sämmtlichen Raaen durch die zugehörigen Schoten oder Flaschenzüge angezogen oder nachgelassen. Das Verstellen der Segel erfolgt vom Deck aus, so dafs dabei das Besteigen der Takelage nicht nöthig ist.

Dergleichen Raasegel werden bei günstigem Winde auch am Bugspriet und Klüverbaum angebracht. Die an den Masten und an den Stengen befindlichen Segel dieser Art lassen sich noch

dadurch verbreiten, dafs mit jeder Raa noch zwei Segelstangen verbunden sind, die bei schwachem Winde seitwärts ausgeschoben, und woran alsdann die sogenannten Leesegel angeschlagen werden.

Die Stagsegel sind von dreieckiger Form. An ihrer längsten Seite sind in geringen Abständen Ringe oder Leinen angebracht, welche ein Stag umfassen, die gegenüber befindliche Ecke wird mittelst einer Schote soweit angeholt, wie die Richtung des Windes dieses fordert. An denjenigen schrägen Tauen, welche parallel zum Stag nach dem Bugspriet und dem Klüverbaum gespannt sind, befinden sich ähnliche dreieckige Segel.

Das Gaffelsegel ist von der Form eines Trapezes, und zuweilen sind auch seine beiden langen Seiten nicht parallel zu einander. Mit der kürzern von diesen beiden langen Seiten ist es mittelst eines vielfach umschlungenen Taues am Mast befestigt, während seine obere Seite, die vom Mast aus schräge ansteigt, an einen Baum, der die Gaffel heifst, angeschlagen ist. Letztere stützt sich mit einem mondförmig eingeschnittenen Ansatz, der den Mast umfafst, gegen denselben, und die vierte Ecke des Segels wird durch eine Schote gehalten.

Wenn bei diesem Segel noch die untere Seite an einem Baum befestigt ist, wodurch es in gröfsere Spannung versetzt wird, so nennt man es ein Baumsegel. Aehnlich demselben, jedoch vorzugsweise nur bei kleinen Fahrzeugen üblich, ist das Sprietsegel, das gleichfalls von viereckiger Form und mit einer seiner langen Seiten am Maste befestigt ist. Die zweite obere Ecke wird bei demselben durch einen schrägen Baum, der das Spriet heifst, unterstützt. Letzterer ist mit dem Segel nicht weiter verbunden, setzt sich aber in der Diagonale desselben bis an den Mast fort, wo er mit einem gabelförmigen Einschnitt in der Oese eines um den Mast geschlungenen Taues steht. Durch die an der vierten Ecke befestigte Schote wird dieses Segel dem Winde entsprechend eingestellt. Dasselbe ist besonders insofern sehr bequem, als es sogleich aufser Thätigkeit kommt, wenn man mittelst eines Taues, das über eine Rolle am Maste geführt ist, das Spriet an den Mast lehnt.

Auf jedem Fahrzeuge und selbst auf kleinen Böten pflegen verschiedene der erwähnten Segel vorzukommen, dagegen giebt es

noch eine Art derselben, die immer allein auftritt und die Verbindung mit andern auch insofern nicht gestattet, als ihre Eigenthümlichkeit und ihr Werth gerade darauf beruht, dafs sie keines hohen Mastes bedarf. Statt desselben ist nur ein niedriger Baum aufgestellt, dessen Länge oft nur dem vierten Theile der Länge des Bootes gleich ist. Die Segelstange ist dagegen fast so lang wie das Boot, und indem sie mit dem einen Ende am Vordersteven befestigt, ohnfern desselben aber bis an den Kopf des kurzen Mastes gehoben wird, so erhebt sich das daran angeschlagene Segel mit seinem hintern Ende bis zu einer viel gröfsern Höhe und fängt daher in einer weit ausgedehnten Fläche den Wind auf. Man nennt dieses das Lateinische oder das Romansegel. Es ist vorzugsweise auf dem mittelländischen Meere, aber doch nur bei kleinern Fahrzeugen üblich, wenn auch zuweilen zwei solche Segel hinter einander aufgestellt werden. Bei den heftigen Stürmen, die in dortiger Gegend oft plötzlich auftreten, bietet es nicht nur den grofsen Vortheil, dafs es schnell niedergelassen werden kann, sondern es wird dabei auch der hohe Mast entbehrlich, der leicht das Kentern oder Umschlagen des Bootes veranlassen könnte.

Bei mäfsigem Winde werden bis zur vollen Höhe der Masten und Stengen die Segel beigesetzt, bei stärkerm zieht man aber namentlich die obern Segel ein, um die Masten und das Tauwerk nicht zu sehr anzugreifen, und um zugleich ein zu starkes Ueberneigen des Schiffs zu verhindern, wenn der Wind dasselbe von der Seite trifft. Steht ein heftiger Wind aber in der Richtung der Fahrt, so drücken die Obersegel das Schiff nach vorn so weit herab, dafs es weniger schnell fortgetrieben wird, als wenn nur die untern Segel wirken. Bei Stürmen endlich führt das Schiff nur Untersegel und auch diese werden verkleinert oder gereeft. Man rollt alsdann ihre untern Theile zusammen, und um diese gehörig befestigen zu können, sind in drei Reihen über einander kurze Leinen, die sogenannten Reefe daran eingeknüpft, mittelst deren man die Windungen zusammenbindet. Hierauf werden die Segel eben so weit herabgelassen, um möglichst tief den Wind aufzufangen.

Nach der Anzahl und Anordnung der Masten und Segel werden vorzugsweise die Schiffe bezeichnet, die Benennungen und

Unterscheidungszeichen der verschiedenen Arten derselben sind indessen so zahlreich und zum Theil auch so wenig allgemein eingeführt, dafs hier nur die wichtigsten und namentlich diejenigen erwähnt werden können, welche in den deutschen Häfen die üblichsten sind.

Trägt das Schiff drei volle Masten, von denen also jeder mit Stenge und Bramstenge versehn ist, so heifst es ein Vollschiff, in manchen Häfen auch eine Pink. Wenn dagegen dem Besahnmast die Bramstenge fehlt, so ist es eine Bark, und wenn der Besahnmast ganz fehlt, eine Brigg. Diese Benennungen sind sehr allgemein aufgenommen. Die Segel sind dabei vorzugsweise Raasegel, an diese schliefsen sich aber vorn die verschiedenen Stag- und Klüsegel, von dreieckiger Form an, und am hintern Mast, also am Besahnmast, oder bei der Brigg am grofsen Mast befindet sich noch ein grofses Gaffelsegel.

Der Schooner oder Schuner hat mit seltenen Ausnahmen nur zwei Masten, und auch diesen fehlen die Bramstengen, während die Stengen besonders beim zweiten oder beim grofsen Mast sehr hoch sind. Er führt nur wenige Raasegel, wogegen die Gaffelsegel, die besonders bequem zu handhaben sind, bei ihm vorherrschen, und oft in grofser Höhe noch angewendet werden. Seine Ladungsfähigkeit ist im Allgemeinen geringer, als bei den erst genannten Fahrzeugen, doch zeichnet er sich meist vor diesen durch schnelleres Segeln aus, besonders wenn der Wind ihn von der Seite trifft. Um dem starken Druck der Segel den nöthigen Widerstand entgegen zu setzen, werden die Masten häufig so gestellt, dafs sie stark nach hinten geneigt sind.

Die Galleas oder Galliotte hat gleichfalls zwei Masten, doch ist bei ihr der vordere, mit einfacher Stenge, der Hauptmast. Dieser trägt ein grofses Gaffelsegel. Ein solches und zwar ein Baumsegel befindet sich auch an dem niedrigeren und weit zurückstehnden Besahnmast. Einige Raasegel und die Vorsegel sind gleichfalls angebracht. Der Schiffsrumpf ist hinten stumpf abgerundet oder mit einem Spiegel versehn.

Die Kuff, gewöhnlich ein schlechter Segler, hat im Rumpf die Form eines in den Kanten und Ecken nur wenig abgerundeten Kastens. Auch der Boden ist sehr flach gehalten, woher die Kuff stark abzutreiben pflegt. Um ihr seitwärts einigen Wider-

stand gegen das Wasser zu geben, versieht man sie oft mit Schwerten. Sie führt zwei Masten, von denen der vordere der gröfste ist. Die Stenge an demselben ist aber nicht durch Mars und Eselshaupt daran befestigt, sondern nur angeblattet. Ein grofses Baumsegel an diesem, wie ein kleineres an dem weit zurückstehnden Besahnmast, werden nebst den dreieckigen Vordersegeln vorzugsweise benutzt.

Endlich wären noch die Jachten zu erwähnen, die nur einen Mast führen, und meist recht scharf gebaut sind. Ein grofses Baumsegel, worüber noch das Gaff-Topsegel sich befindet in Verbindung mit den Vorsegeln läfst sie gewöhnlich schnelle Fahrten machen. Besonders die Dänischen Jachten, die man oft in unsern Häfen sieht, zeichnen sich durch ihre gefälligen Formen, wie durch die Leichtigkeit ihrer Bewegungen sehr vortheilhaft aus*).

Nachdem die verschiedenen Segel beschrieben sind, dürfte es angemessen sein, die Wirkung derselben noch zu erörtern, und dieses erscheint um so nöthiger, als beim Einlaufen und Ausfahren in oder aus dem Hafen vorzugsweise die Frage in Betracht kommt, welche Richtung das Schiff bei gewissen Winden noch verfolgen kann.

Segelt das Schiff vor dem Winde oder fällt seine Richtung nahe mit der des Windes zusammen, so bedarf es keiner weitern Erklärung, in welcher Art es von dem letztern in Bewegung gesetzt wird. Es verfolgt diese Richtung alsdann auch wirklich, ohne seitwärts abzutreiben, wenn es nicht vielleicht von starken Strömungen getroffen wird. Bei dieser Richtung des Windes werden alle Raasegel normal gegen die Längenachse des Schiffs gestellt, auch die Stagsegel, Gaffelsegel oder andre läfst man an den Schoten soweit abtreiben, dafs sie dieselbe Richtung annehmen. Hierbei wäre nur darauf aufmerksam zu machen, dafs namentlich die obern Raasegel den Vordertheil des Schiffs herabdrücken, wogegen die Stagsegel, welche eine gegen den

*) Ueber Bau und Ausrüstung der Schiffe findet man vorzugsweise nähere Auskunft in einem ältern Werk „Allgemeines Wörterbuch der Marine von J. H. Röding" (ohne Jahreszahl), wie auch weniger eingehend im „Handbuch der practischen Seefahrtskunde von Dr. E. Bobrik. 1847 und 1848."

Horizont geneigte Fläche darstellen, den Vordertheil des Schiffs etwas heben.

Fährt das Schiff in einer Richtung, die von der des Windes ungefähr um einen rechten Winkel verschieden ist, so sagt man, es segelt bei dem Winde. Es bewegt sich indessen bei angemefsner Stellung der Segel noch voran, wenn auch der Wind ihm schon etwas entgegen gekehrt ist, und selbst Schiffe, die zum schnellen Segeln nicht eingerichtet sind, können noch auf 6 Striche am Winde liegen oder in einer Richtung fahren, die $67\,^1/_2$ Grade von derjenigen abweicht, aus welcher der Wind kommt. Schnellsegler laufen dagegen soweit in den Wind, dafs sie nur 4 Striche oder 45 Grade von der Richtung desselben entfernt bleiben. Wenn die Schiffe abwechselnd in der einen und der andern Richtung hart am Winde liegen, so beschreiben sie einen Weg, der zwar im Zickzack läuft, der sie aber gerade gegen den Wind führt. Dieses Manöver nennt man laviren, und der einzelne Theil dieses Weges heifst ein Schlag.

Das Wort Strich, das im Seewesen allgemein eingeführt ist, bezieht sich auf die Eintheilung der Windrose, also des Vollkreises, in 32 gleiche Theile (Striche), und diese entsprechen den üblichen Bezeichnungen der Himmelsgegenden, nämlich: Nord, Nord zum Ost, Nord-Nordost, Nordost zum Nord, Nordost, Nordost zum Ost und so weiter. 1 Strich ist also gleich $11\,^1/_4$ Graden.

In welcher Weise der Wind auf die Segel wirkt, wenn das Schiff bei dem Winde oder am Winde segelt, ergiebt sich leicht, wenn man die Kraft, die der Wind gegen das Segel ausübt, zerlegt. AB in Fig. 93 sei das Schiff und es bewege sich von B nach A, während CG die Richtung des Windes ist. Letzterer trifft das Segel EG sehr schräge. Wenn die Linie DG den Druck des Windes bezeichnet, so wird nur ein Theil desselben, nämlich DE das Segel normal treffen, während die andre Componente EG parallel zum Segel gerichtet ist, also ohne Wirkung bleibt. Zerlegt man jenen Druck DE nochmals, nämlich nach der Richtung der Längenachse des Schiffs und senkrecht darauf, so wird der Druck FE das Schiff vorwärts und DF dasselbe seitwärts treiben. Letzterer ist in diesem Fall zwar bedeutend gröfser, als ersterer, aber bei der grofsen

Länge des Schiffs und seinem verhältnifsmäfsig nur kleinen Querschnitt ist der Widerstand, den es der ersten Bewegung entgegensetzt, viel geringer, als derjenige, den die letztere erfährt, und sonach erfolgt die Bewegung vorzugsweise nach vorn und nur in geringem Maafse nach der Seite.

AH sei der Weg, den das Schiff in einer gewissen Zeit in der Richtung seiner Achse zurücklegt, und während derselben Zeit werde es um die Linie *HJ* seitwärts getrieben. Es bewegt sich alsdann nicht in der Richtung *AH*, sondern *AJ*. Den Winkel, um welchen beide Richtungen von einander abweichen, nennt man die Abtrift. Man kann, wie bereits erwähnt, denselben auf offner See leicht bestimmen, indem man vom Heck, oder von dem Hinterdeck aus den Winkel mifst, den das Kielwasser gegen die Längenachse des Schiffs macht. Das vom Schiff verdrängte Wasser, schlägt nämlich hinter dem Hintersteven wieder zusammen und hier entsteht ein sehr auffallendes Kräuseln und Aufwallen, das noch längere Zeit hindurch die Stellen kenntlich macht, durch welche der Hintersteven gegangen war. Auf solche Art zeichnet sich hinter dem Schiff eine auffallende Linie in der Oberfläche des Wassers, die der Seemann das Kielwasser oder den Sog nennt.

Beim Auftragen des Curses mufs die Abtrift berücksichtigt werden, weil man sonst den Ort, wo das Schiff sich wirklich befindet, nicht richtig angeben würde. Sie ist, selbst wenn das Schiff bei dem Winde segelt, oder derselbe die Längenachse unter einem rechten Winkel schneidet, gemeinhin sehr geringe, und pflegt daher nicht berücksichtigt zu werden, so lange in diesem Fall die See ruhig und der Wind so schwach ist, dafs alle Segel beigesetzt werden können. Dagegen wächst sie, wenn das Schiff hart am Winde liegt und besonders, wenn es alsdann wegen der Stärke desselben oder wegen des heftigen Seeganges nur wenig Segel führen kann, bis auf 4 Strich oder einen halben Quadranten.

Die Abtrift wird wesentlich durch die Form der Schiffe bedingt. Sind dieselben scharf gebaut und bilden sie in ihrer Länge ausgedehnte, nicht zu stark gekrümmte Flächen, welche der Seitenbewegung widerstehn, so ist letztere nur mäfsig, bei abgerundeten Böden, aus welchen die Kiele nur wenige Zolle

weit vortreten, oder gar bei flachen Böden ohne Kiele findet dagegen ein starkes Abtreiben statt. Um dieses zu mäfsigen, bringt man bei den erstern zu beiden Seiten noch Kiele, die sogenannten Kimmkiele an. Es ist auch mehrfach der Versuch gemacht worden, in der Mitte des Fahrzeuges einen wasserdicht umschlofsnen Schlitz darzustellen, durch welchen man einen tief herabreichenden Kiel von mäfsiger Länge unter dem Boden, so oft es nöthig ist, niederlassen kann. Dieses ist namentlich geschehn, wenn es Absicht war, ein Flufsschiff über See gehn zu lassen. So lange es im flachen Fahrwasser des Stroms bleibt, ist dieser Kiel entbehrlich, und würde sogar den Tiefgang vergröfsern, in der See wird er aber herabgelassen. Die Erfolge dieser Versuche haben sich keineswegs als ungünstig erwiesen, aber unbedingt wird die Construction des Schiffs dadurch sehr erschwert und seine Festigkeit beeinträchtigt. Das einfachste Mittel, das auch häufig zur Anwendung kommt, besteht darin, dafs man sogenannte Schwerte anbringt. Dieses sind Tafeln aus Brettern, die an der dem Winde entgegengesetzten Seite herabgelassen werden, und gegen welche das Schiff sich lehnt. Fig. 104 auf Taf. XVII zeigt eine Niederländische Kuff, die mit solchen versehn ist. Das in Linien ausgezogene Schwert ist aus dem Wasser gehoben, sobald es aber benutzt wird, läfst man es herab und alsdann nimmt es die durch die punktirte Linie angedeutete Stellung ein. Nicht selten sah man früher auch Seeschiffe, die an jeder Seite zwei Schwerte, eines hinter dem andern trugen.

Bei kleinen Böten tritt eine starke Abtrift schon bei mäfsigem Wellenschlag ein, weil jede anlaufende Welle mehr oder weniger und oft vollständig die Fahrt unterbricht, und das Boot alsdann nur der unmittelbaren Einwirkung des Windes ausgesetzt bleibt. Wenn daher in diesem Fall das Fahrzeug während des Lavirens auch hart am Winde liegt, ohne dafs die Segel flattern, so ist es dennoch unmöglich, gegen den Wind aufzukommen. Nachdem man zwei weite Schläge gemacht hat, befindet man sich oft nur an derselben Stelle, wo man vorher schon war. Dieser Uebelstand verschwindet, sobald das Boot gröfsere Masse hat oder durch Ballast stark beschwert ist, weil alsdann die Wirkung der einzelnen Wellen auf dasselbe gegen seine Masse sich abschwächt.

Die Anwendung von schwerem Ballast ist jedoch bei offnen Böten oder solchen, die kein Deck haben, bedenklich, weil sie beim Einschlagen der Wellen sich mit Wasser füllen und alsdann versinken. Hat man dagegen das Boot nicht beballastet, so kann es zwar auch durch die Wellen ganz gefüllt werden und kentern, aber es schwimmt alsdann doch auf dem Wasser und die darin befindliche Mannschaft kann sich daran halten, wodurch ihre Rettung wesentlich erleichtert wird.

Es giebt noch eine andre Ursache, wodurch das Aufsegeln gegen den Wind, wenn auch nicht in gleichem Grade, doch immer merklich erschwert wird. Die Richtung, in welcher der Wind das in der Fahrt begriffene Schiff trifft, ist nämlich eine andre und zwar eine noch ungünstigere, als diejenige, in welcher er es treffen würde, wenn es sich nicht bewegte. Nach Fig. 94 sei wieder BA die Richtung, in der das Schiff sich bewegt, und DB diejenige des Windes. DB sei zugleich der Weg, den ein Lufttheilchen, oder den der Wind in einer gewissen Zeit, also etwa in einer Secunde zurücklegt. Zerlegt man diese Geschwindigkeit nach der Richtung der Bewegung des Schiffs und der darauf senkrechten, so sind AB und DA die Geschwindigkeiten in beiden Richtungen. Bezeichnet nun BC den von dem Schiff in derselben Zeit zurückgelegten Weg oder die Geschwindigkeit desselben, so ist die relative Geschwindigkeit des Windes in der Richtung der Bewegung des Schiffs nicht mehr AB, sondern $AB + BC$ oder gleich AE. Die normal dagegen gerichtete Geschwindigkeit bleibt unverändert, und der Wind trifft das in der Fahrt begriffene Schiff unter dem Winkel DEA, während dasselbe bei gleicher Richtung in der Ruhe unter dem Winkel DBA getroffen sein würde. Jener ist aber noch spitzer, als dieser, woher er auch noch weniger günstig ist. Der an den Top des Mastes oder sonst irgendwo befestigte Wimpel oder Flegel zeigt diese Verschiedenheit sehr auffallend, wenn man seine Stellung mit dem Flegel eines vor Anker liegenden Schiffs vergleicht. Die Flegel der beiden Schiffe stehn alsdann nicht parallel. Derjenige, der auf dem ankernden Fahrzeug angebracht ist, zeigt die wirkliche Richtung des Windes an, der in der Fahrt begriffne dagegen die relative Richtung.

Die Segel dienen keineswegs nur zur Fortbewegung eines

Fahrzeugs, sondern aufserdem hängt von ihnen auch die Richtung ab, in die dasselbe sich stellt. Sie unterstützen daher wesentlich die Steurung, und mit dem Steuer allein kann man das Schiff nicht stark wenden, vielmehr ist dieses nur möglich, wenn gleichzeitig auch die Segel verstellt werden. Das Steuer, welches der Seemann das Ruder nennt,*) hat bei Seeschiffen nur eine sehr geringe Länge, wenn man diese mit derjenigen vergleicht, die man ihm bei Flufsschiffen zu geben pflegt. Diese Länge ist gemeinhin nur dem zwölften Theil der gröfsten Breite des Schiffs gleich, seine Wirkung bleibt daher auch nur sehr geringe, aber man darf diese nicht durch Verlängerung des Ruders verstärken, weil eines Theils die Handhabung des letztern schon eine grofse Kraft in Anspruch nimmt, zu deren Darstellung sehr verschiedene mechanische Vorrichtungen angewendet werden, die aber dennoch häufig nicht genügen, um es durch einen einzigen Matrosen führen zu lassen. Sodann aber bleibt das Ruder selbst bei dieser geringen Länge schon derjenige Theil des Schiffskörpers, der den gröfsten Beschädigungen beim Wellenschlag ausgesetzt ist, und oft abgebrochen oder ausgehoben wird. Viele Schiffe führen daher zum Ersatz für solchen Fall ein fertiges Reserve-Ruder mit sich, und der Schiffszimmermann an Bord mufs, wenn dieses nicht vorgesehn ist, aus allen irgend entbehrlichen Hölzern ein neues schleunig zusammensetzen, wenn das erste fortgetrieben oder zerschlagen ist.

Die Wirksamkeit des Steuers ist leicht erklärlich, wenn man die darauf wirkenden Kräfte wieder zerlegt. Das Schiff bewege sich nach Fig. 95 in der Richtung BA, das ruhende Wasser zur Seite trifft daher das schräge gestellte Ruder BG. Den Druck ED, den es darauf ausübt, zerlege man parallel und normal zur Richung des Ruders. Der erste verschwindet, der letzte ist gleich EB. Zerlegt man diesen wieder in zwei andre Pressungen, die parallel und normal zur Längenachse des Schiffs gerichtet sind, so stellt EF die Kraft dar, welche das Schiff in dem Punkte D dreht. Diese Kraft ist gleich

$$\frac{1}{2} p \operatorname{Sin} 2\varphi$$

*) Die Ruder, die zur Bewegung eines Bootes benutzt werden, heifsen Riemen.

wenn man den Druck des vom Steuer getroffenen Wassers mit p, und den Winkel, welchen das Ruder gegen die Längenachse des Schiffs macht, mit φ bezeichnet. Bei näherer Untersuchung der Verhältnisse muſs noch darauf Rücksicht genommen werden, daſs die Gröſse p auch von dem Winkel φ abhängig ist, hier sollte aber nur darauf hingewiesen werden, daſs aus dieser einfachen Betrachtung sich schon ergiebt, daſs das Schiff gar nicht mehr gedreht wird, sobald man das Steuer in einen rechten Winkel stellt, oder wenn $\varphi = {}^1/_2\,\pi$ wird. Nur der unmittelbare Stoſs würde alsdann noch wirksam bleiben, dieser ist aber in Bezug auf die Drehung nicht bedeutend, weil er bei Berücksichtigung des Schwerpunktes des Schiffs nur auf einen sehr kurzen Hebelarm wirkt. Es ergiebt sich hieraus, daſs das Ruder niemals aus seiner geraden Lage weit entfernt werden darf, und gemeinhin sind die erwähnten mechanischen Vorrichtungen auch so angeordnet, daſs der Winkel φ im Maximum nur gleich 35 Graden werden kann.

Hieraus ergiebt sich noch eine andre wichtige Schluſsfolge, daſs nämlich der Effect des Ruders dem Druck p entspricht, dieser ist aber ungefähr dem Quadrat der relativen Geschwindigkeit des dagegen stoſsenden Wassers, oder dem Quadrat der Geschwindigkeit des Schiffs proportional. Bei schwacher Fahrt wirkt also das Ruder, besonders wenn es so klein ist, wie beim Seeschiff, nur sehr wenig, und die Wirkung desselben hört, wie bekannt, ganz auf, sobald die relative Geschwindigkeit des Wassers gegen das Steuer gleich Null wird, also wenn das Schiff in stehendem Wasser still liegt, oder wenn es mit gleicher Geschwindigkeit im strömenden Wasser treibt.

Um an einem Beispiel zu zeigen, in welcher Weise die Segel benutzt werden, um ein Schiff zu wenden, mögen die sehr einfachen Segel eines kleinen Bootes gewählt werden. Das Manöver auf groſsen Schiffen, obwohl viel complicirter, stimmt im Wesentlichen hiermit überein. Der Hafenbaumeister muſs sein Segelboot auch selbst zu führen verstehn, woher dieses Beispiel sich vorzugsweise hier empfehlen dürfte.

Indem dieses Boot sowohl durch Ruder, wie auch durch Segel leicht beweglich sein muſs, so darf es weder aus starkem Holz erbaut werden, noch auch groſse Breite haben. Es hat

daher, wenn es mit Wasser gefüllt ist, wenig Tragfähigkeit, indem es aber leer schwimmt, besitzt es wenig Steifigkeit, oder es legt sich unter dem Druck des Windes gegen die Segel so stark auf die Seite, dafs es ohne Ballast überhaupt nicht segeln kann. Indem nun, namentlich in der Nähe der Häfen, der Wind durch hohe Gegenstände vielfach abgefangen wird, und sobald das Boot aus dem Schutz derselben heraustritt, plötzlich getroffen wird, auch im freien Wasser starke Windstöfse nicht ungewöhnlich sind, so liegt die Gefahr nahe, dafs es in solchen Fällen sich so weit überneigt, dafs es Wasser schöpft, und bald darauf sich ganz anfüllt und wegen des Ballastes sogleich versinkt. Aus diesem Grunde dürfen die Leinen, durch welche die Segel gespannt werden, oder die Schoten, nur in der Art befestigt sein, dafs sie augenblicklich gelöst werden können, wodurch der Druck des Windes dagegen, wenn auch nicht ganz aufgehoben, doch wesentlich vermindert wird, indem die freien Segel sich alsdann wie Fahnen in der Richtung des Windes stellen. Die Schoten werden daher in der Art, wie Fig. 104. b auf Taf. XVII zeigt, nur einfach um Kreuzklampen geschlungen. Von den Klampen war bereits im I. Theil dieses Handbuchs § 42 die Rede. Man nennt sie aber Kreuzklampen, wenn sie mit zwei Hörnern versehn sind. Die Figur stellt eine solche zugleich mit den beiden Holzschrauben dar, durch welche sie an das Schandeck des Bootes befestigt wird.

Die an das freie Ende des Segels gebundene Schote *P* wird, nachdem sie passend angezogen ist, über die Klampe gelegt, unter dem Horn einmal durchgezogen, und alsdann die Bucht darunter geschoben. Diese Befestigung genügt vollständig, denn je stärker die Schote vom Segel angezogen wird, um so stärker drückt sie auch das darunter liegende Ende, um so gröfser wird also der Widerstand. Sobald ein heftiger Windstofs das Segel fafst, also die Gefahr des Kenterns eintritt, braucht man nur das freie Ende *R* herauszuziehn, und das Segel wird frei.

Fig. 96 zeigt das Boot mit den gewöhnlichen Segeln, nämlich mit zwei Stag- und einem Sprietsegel. Das Stagsegel *B* neben dem Mast heifst bei kleinen Böten die Stagfock, und das vordere *C* am Klüverbaum befestigte die Klüfock. Das vierseitige Segel *A* ist durch den Spriet unterstützt, den die Figur gleich-

falls zeigt. Alle drei Segel sind in der Art gestellt, wie dieses die Richtung des Windes fordert, und sie bilden ungefähr parallele Flächen. Fig. 97 ist die Ansicht von oben und *DE* bezeichnet die Richtung des Windes, das Boot segelt also hart am Winde, der es von der rechten Seite trifft. Will man nun beim Laviren wenden oder das Boot so stellen, dafs es auf der linken Seite vom Winde getroffen wird, aber wieder so hart wie thunlich gegen denselben anläuft, so sorgt man zunächst dafür, dafs es recht starke Fahrt hat, also das Ruder recht wirksam wird. Zu diesem Zweck läfst man es etwas vom Winde abfallen, das heifst, man dreht das Ruder so, dafs der Wind die Segel voller trifft. Nunmehr wird die Schote der Klüfock gelöst, so dafs letztere sich in die Richtung des Windes stellt, oder von demselben nicht mehr getroffen wird. Dadurch hebt man das Gleichgewicht zwischen den Vorder- und Hintersegeln auf, und indem die letztern alsdann stärker gedrückt werden, als jene, so dreht schon der Wind das Boot so, dafs dasselbe sich seiner Richtung nähert. Diese Wendung mufs durch das Ruder möglichst unterstützt werden und hierdurch gelingt es auch meist, das Boot durch den Wind zu drehn. Sollte dieses aber, wie bei stärkerem Wellenschlage oft geschieht, nicht gelingen, so dafs also das Boot, ehe es gedreht hat, zum Stillstande kommt, und dadurch das Ruder unwirksam wird, so giebt es noch ein kräftiges Mittel, die Wendung zu vollenden. Dieses bietet die Stagfock. Wenn dieselbe nämlich in ihrer bisherigen Stellung gehalten und in dieser recht steif angeholt wird, so bildet sie, sobald das Boot sich in die Richtung des Windes stellt, eine schräge Fläche, die in derselben Weise vom Winde, wie das Steuer vom dagegen stofsenden Wasser seitwärts gedrängt wird und daher das Boot weiter dreht, bis dieses entschieden von der andern Seite getroffen wird. Hierauf werden alle Segel in diejenige Richtung gestellt, welche Fig. 97 in den punktirten Linien angiebt.

Bei gröfsern Schiffen, welche mehr Segel führen, ist das ähnliche Manöver bedeutend ausgedehnter, es gelingt indessen gewöhnlich viel sicherer, weil bei der grofsen Masse die Wirkung der einzelnen Wellen weniger erheblich ist. Nichts desto weniger wird es bei heftigem Wellenschlage und namentlich wenn die Schiffe keine guten Segler sind, zuweilen doch unmöglich, in der

beschriebenen Art, durch den Wind zu drehn. Dieses muss alsdann vor dem Winde geschehn. Das Schiff wendet sich alsdann rückwärts, was zwar jedesmal gelingt, wobei jedoch ein grofser Theil des Weges, den man in der Richtung gegen den Wind gemacht hatte, wieder verloren wird. Auch bei diesem Manöver müssen die Segel wesentlich mitwirken, damit das Schiff schnell wendet und nicht zu lange vor dem Winde treibt. Um es kräftig zu drehn, lüftet man das hintere Segel oder zieht die äufsere Ecke desselben, die der Hals heifst, zurück, dadurch erhalten die vordern Segel das Uebergewicht und der Wind selbst bewirkt wieder die Drehung, die durch das Ruder unterstützt wird. Man nennt das Wenden vor dem Winde aus diesem Grunde auch das Halsen.

Dieses Beispiel über den Gebrauch der Segel zum Steuern des Schiffs mag genügen, und nur hinzugefügt werden, dafs man zwar geringe Wendungen mittelst des Ruders ausführen kann, besonders wenn das Schiff in starker Fahrt begriffen ist, dafs man aber mit diesem allein, während die Segel bei heftigem Winde unverändert stehn bleiben, nicht weit aus dem bisherigen Curs abweichen kann. Es ergiebt sich hieraus, dafs das Fahrwasser im Hafen auf eine längere Strecke gerade gerichtet sein mufs, damit bei der schnellen Fahrt, die zum Innehalten der engen Hafenmündung nothwendig ist, die nöthige Zeit zum Beseitigen der Segel bleibt.

Insofern das Schiff, welches bei dem Winde segelt, oder gerade von der Seite getroffen wird, nicht nur nach vorn, sondern auch nach hinten getrieben werden kann, wenn die Segel in gewisser Weise gerichtet werden, so kann man die Segel auch so stellen, dafs die Wirkungen des Windes sich gegenseitig aufheben und das Schiff, obwohl es unter vollen Segeln bleibt, doch weder vor, noch rückwärts geht und, abgesehn von dem Treiben nach der Langseite oder in der Richtung des Windes, unverändert auf derselben Stelle bleibt. Man sagt alsdann, das Schiff habe beigedreht. Dieses geschieht zum Beispiel, wenn vor dem Hafen der Lootse aufgenommen werden soll. Ein solches Manöver läfst sich indessen nur bequem bewerkstelligen, wenn das Schiff Raasegel führt, denen man durch Taue, die zum Einstellen der Raaen dienen, und die man die Brassen nennt,

leicht die verkehrte Richtung geben kann. Auch auf Binnengewässern, und zwar wenn die Strömung das Schiff in der beabsichtigten Richtung forttreibt, während ein mäfsiger Wind entgegensteht, pflegen Seeschiffe diese Segelstellung zu benutzen, um die Fahrwasser inne zu halten. Sie stellen sich alsdann quer gegen den Strom, und je nachdem die vorwärts oder die rückwärts gebrafsten Segel schärfer angeholt werden, so geht das Schiff nach vorn oder nach hinten, und nähert sich daher dem einen oder dem andern Ufer. Der Wind treibt es dabei etwas stromauf, aber insofern die Strömung wirksamer ist, so folgt es dennoch der letztern. In dieser Weise sah man in früherer Zeit, als die neue Weichselmündung bei Neufähr sich noch nicht eröffnet hatte und die Danziger Weichsel das Oberwasser abführte, sehr häufig die Schiffe gegen einen mäfsigen Wind nach Neufahrwasser herabsegeln. Noch häufiger wird dasselbe Manöver auf solchen Strömen benutzt, worin starke Fluth und Ebbe statt findet. Man hat dabei den Vortheil, dafs die Segel stehn bleiben, und daher nur gedreht werden dürfen, um den Wind vollständig benutzen zu können, sobald das Fahrwasser eine andere Richtung annimmt.

Da in manchen Häfen die Gelegenheit zum Ankern der Schiffe geboten wird, so ist es nothwendig, auch hierüber die erforderlichen Erklärungen zu geben. Der Anker besteht in seiner gewöhnlichen Zusammensetzung aus einer starken eisernen Stange, dem Schaft, der sich in zwei Arme spaltet. Letztere sind an ihren Enden gewöhnlich verbreitet, oder mit Schaufeln versehn, damit sie beim Eindringen in den Boden um so grössern Widerstand finden. Aufserdem ist am Ende des Schafts noch ein hölzerner oder eiserner Querarm angebracht, der Ankerstock genannt, der kreuzweise gegen die Arme gestellt ist und keinen andern Zweck hat, als um einen der beiden Arme in eine solche Lage zu bringen, dafs er in den Boden eindringt. Am Ende des Schafts befindet sich noch ein starker Ring, an welchen das Ankertau oder die Ankerkette befestigt ist.

Man läfst den Anker, sobald das Schiff zum Stillstande gekommen ist, herabfallen, und da derselbe wegen der Befestigung an der Kette und wegen des Stocks, besonders wenn dieser aus Holz besteht, jedesmal mit dem Theil, wo die beiden Arme in

einander übergehn, zuerst den Grund erreicht, so pflegen sich beide Arme auf den letztern flach aufzulegen, wie Fig. 98 zeigt, so dafs keiner von beiden zum Eingriff kommt. Das Schiff fängt nunmehr an zu treiben, und indem es den Anker nach sich zieht, so hindert dasjenige Ende des Ankerstocks, welches den Boden berührt, das weitere Fortziehn des Ankers. Sollte das Tau so kurz sein, dafs es sehr steil steht, so würde es den Stock aufwärts ziehn, und den Widerstand aufheben, den derselbe auf dem Grunde findet. Wenn man dagegen, wie immer geschieht, das Tau weit auslaufen läfst, so dafs es sich in der Nähe des Ankers ganz oder doch nahe horizontal stellt, so findet ein Heben des Ankerstocks nicht mehr statt und derselbe haftet auf dem Grunde. Indem aber bei der ganz zufälligen Lage des Ankers der Schaft desselben und das Ankertau niemals, oder doch nur momentan in dieselbe Vertikal-Ebene fallen, so kippt der ganze Anker um das eingreifende Ende des Stocks, so dafs letzterer sich flach auf den Boden legt, wie Fig. 99 zeigt. Nunmehr ist der untere Arm in solcher Stellung, dafs er beim weitern Fortgange des Schiffs, wie eine Pflugschaar, in den Grund eingreift. Aber auch jetzt findet er im gewöhnlichen thonigen Grunde, oder im Sande keinen absolut festen Halt, vielmehr dringt er langsam immer weiter, besonders wenn bei heftigem Wellenschlage das Schiff stofsweise sehr stark die Kette oder das Tau anzieht. Das Schiff treibt daher langsam in der Richtung der Wellen, also gemeinhin gegen das Ufer. Die hieraus entstehende Gefahr wird erheblich, wenn bei anhaltenden Stürmen der Grund sich auflockert, also der Anker immer weniger Widerstand findet.

Was die Construction der gewöhnlichen Anker betrifft, die auch bei Hafenbauten vielfach gebraucht werden, so ist in Betreff der aus Eisen bestehenden Theile desselben nichts zu erwähnen, da der Schaft mit den beiden Armen und den daran befindlichen breiten Blättern oder Schaufeln in einem Stück ausgeschmiedet, auch der Ring, nachdem er in die Oeffnung ein gezogen ist, darin zusammengeschweifst wird. Der hölzerne Theil oder der Stock besteht dagegen aus zwei Stücken, die genau an einander gepafst sind, so dafs sie den Hals des Ankers nahe am Ringe umschliefsen. Zu ihrer Befestigung ist der Hals nicht nur vierkantig ausgeschmiedet, sondern auch mit einer Oeffnung für

einen durchgreifenden Bolzen versehn, und nachdem beide Hälften des Stocks entsprechend ausgeschnitten sind, werden sie darum gelegt, und durch mehrere aufgetriebene Ringe unter sich verbunden.

Bei kleinern Fahrzeugen und namentlich bei Böten bedient man sich meist des sogenannten Draggers, das heifst eines kleinen Ankers, der nicht nur zwei, sondern gewöhnlich fünf Arme hat, die strahlenförmig rings um den Schaft stehn und gleichfalls mit Schaufeln versehn sind. Dabei ist der Ankerstock entbehrlich, weil der Dragger, wie er auch niederfallen mag, jedesmal auf einem oder auf zwei Armen liegt, die beim Anziehn des Ankertaus in den Grund eindringen.

Wollte man, während das Schiff in starker Fahrt begriffen ist, den Anker fallen lassen, so würde bei der plötzlichen sehr starken Anspannung des Taues oder der Kette dieses zerreifsen. Wenn man sich bei mäfsiger Geschwindigkeit des Schiffs wegen andrer dringender Gefahr hierzu gezwungen sieht, so muss man dafür sorgen, dafs das Tau nicht sogleich festgehalten wird, sondern bei zunehmender Spannung sich noch weiter ausziehn kann. Das gewöhnliche Manöver beim Ankern besteht darin, dafs man das Segelschiff gegen den Wind, oder bei heftiger Strömung gegen diese laufen läfst, wobei es schnell zum Stilstande kommt. Sobald seine Fahrt aufgehört hat, so läfst man den Anker fallen, und indem nunmehr der Wind oder der Strom das Schiff zurücktreibt, so spannt sich langsam das Tau, der Anker nimmt die passende Lage an, greift in den Grund ein und verhindert das weitere Treiben des Schiffs. Dabei mufs indessen hinreichend Tau ausgelassen werden, weil der Anker nur hält, wenn er einen beinahe horizontalen Zug erfährt.

Das Ankertau oder Kabel ist gewöhnlich 150 Klafter oder 900 Fufs lang, doch werden nicht selten mehrere solche an einander gesplifst, um zu verhindern, dafs das Tau sich nicht zu steil stellt. Namentlich ist dieses nothwendig, wenn man in grofsen Tiefen, wie etwa von 40 Faden, ankert. Das Tau oder die Kette ist jedesmal durch eine der beiden zu diesem Zweck neben dem Vorsteven angebrachten Oeffnungen, die Klüsgate genannt, hindurch gezogen. Das Schiff wird daher an seinem Vordertheile gehalten und wenn es nicht etwa in starker Strömung

liegt, so wird es vom Winde wie eine Fahne so gedreht, dafs es seinen Bug demselben entgegenkehrt. Auch die Wellen, die gemeinhin in derselben Richtung laufen, treffen es alsdann von vorn. Wenn dagegen der Wind sich ändert, während die Wellen noch ihre frühere Richtung beibehalten, so wird das Schiff von den letztern auf der Seite getroffen und man pflegt alsdann, ohne den Anker zu heben, oder zu lichten, einige Segel beizusetzen, damit das Rollen nicht zu heftig wird.

Das Liegen vor Anker bei starkem Winde und auf ungeschützter Rhede ist immer nicht ohne Gefahr und nimmt die Aufmerksamkeit des Seemanns im vollsten Maafs in Anspruch. Besonders mufs er darauf achten, dafs nicht etwa beim Umsetzen der Strömung das Tau oder die Kette den aus dem Grunde vortretenden Arm des Ankers fafst, wobei der letztere alle Haltung verlieren würde. Ist der Raum aber so beengt, entweder durch andre Schiffe oder durch Untiefen in der Nähe, dafs das Schiff bei der nöthigen Länge der Kette sich nicht mehr bei den verschiedenen Richtungen des Windes und der Strömung um den Anker drehn kann, so bleibt nur übrig, es vor zwei Anker zu legen, die in verschiedenen Richtungen ausgebracht und deren Taue durch die beiden Klüsgate gezogen und angeholt sind.

In den Häfen, wo theils wegen mangelnden Raums und theils wegen der mäfsigen Tiefen der Gebrauch des Ankers beschränkt und oft ganz verboten ist, werden die Schiffe, wenn sie nicht an das Ufer oder an Duc d'Alben anlegen, vielfach an grofse schwimmende Buoyen befestigt, und letztere liegen entweder vor einarmigen Ankern, die also über die Sohle nicht vorragen, also auch nicht zum Auflaufen der Schiffe auf den obern Arm Veranlassung geben können, oder ihre Kette ist an eine Grundschraube befestigt, die unter der Hafensohle sich befindet und daher einen sehr sichern Stützpunkt bietet. Dagegen werden in gröfseren Häfen sehr häufig kleinere Anker oder sogenannte Warpanker benutzt, an welchen die Schiffe aus- oder einholen. Ein solcher wird vor ihnen ausgebracht und an dem Tau desselben, mit Benutzung des Gangspills das Schiff herangezogen. Bevor es aber noch in die Nähe des ersten Warpankers gekommen ist, mufs schon ein zweiter in weiterer Ent-

fernung ausgebracht sein, dessen Tau in gleicher Art angezogen wird, so dafs die Bewegung ohne Unterbrechung fortgesetzt werden kann.

Um die Stelle zu bezeichnen, wo der Anker liegt, und um denselben zugleich leichter aus dem Grunde lösen zu können, pflegt man ein zweites Tau am Ende des Schafts zwischen den beiden Armen zu befestigen. Sobald dieses angewunden wird, so zieht es den im Grunde steckenden Arm in der Richtung seiner Länge, also unter dem geringsten Widerstande, heraus. An das Ende dieses Taues befestigt man eine Buoye, die auf dem Wasser schwimmt, die man also leicht fassen kann. Dieses Mittel zum Heben oder Lichten des Ankers ist jedoch meist nur bei ruhiger Witterung anwendbar. Es müssen daher auf dem Schiffe auch die nöthigen Vorrichtungen getroffen sein, um mittelst des am Ringe befestigten Ankertaues oder der Kette den Anker zu lichten. Zu diesem Zweck befindet sich jedesmal neben dem Buge eine kräftige Winde, das grofse Spill oder auch wohl das Bratspill genannt. Um die starke und meist achteckig geformte Welle desselben, die horizontal liegt, wird das Tau oder die Kette mehrmals umgeschlungen und das Ende desselben angezogen, um die Reibung möglichst zu verstärken. Dieses Spill wird häufig nur mittelst eingesteckter Hebel oder Handspaken in Bewegung gesetzt. Bei grofsen Schiffen geschieht dieses aber durch besondere mechanische Vorrichtungen, und zwar gewöhnlich durch darüber angebrachte lange Hebel, die wie bei Feuerspritzen auf und nieder gezogen werden. So lange das Schiff noch vom Anker entfernt ist, folgt es leicht dem Zuge, sobald aber das Tau beinahe lothrecht steht, und der Anker beim fernern Zuge aus dem Grunde gerissen werden mufs, so erfolgt die Bewegung des Spills sehr langsam, und zeitweise ist die vereinte Kraft der ganzen Schiffsmannschaft nicht im Stande, das Tau weiter einzuholen. Ein mäfsiger Wellenschlag erleichtert wesentlich dieses Manöver. Sobald der Bug des Schiffs sich senkt, zieht man das Tau steif an und die in das Spill eingreifenden Sperrkegel, Palle genannt, verhindern sein Zurückdrehn, sobald die nächste Welle das Schiff wieder hebt. Der Anker mufs daher demselben folgen. Ist endlich der Anker frei, oder schwebt er über dem Grunde, so ist das fernere Heraufholen nicht

schwierig, aber in diesem Augenblicke treibt auch schon das Schiff vor dem Winde und die Segel müssen gehörig gerichtet werden. Gemeinhin pflegt man durch einige bereits angeholte Stagsegel dafür zu sorgen, dafs das Schiff sogleich, wie es vom Anker nicht mehr gehalten wird, diejenige Wendung macht, welche dem Curs entspricht, den es verfolgen soll.

Liegt das Schiff nahe vor dem Hafen vor Anker, und soll es bei günstigem Winde absegeln, wie gewöhnlich geschieht, so wird das Aufholen des Ankers ganz umgangen, wenn statt desselben eine zu den Hafenanstalten gehörige Buoye oder auch ein geborgter Anker benutzt wird, den der Eigenthümer später selbst hebt. Es geschieht auch wohl, dafs man in diesen Fällen das Tau nicht am Buge, sondern am Spiegel, oder dem Hintertheil des Schiffs befestigt, wodurch man den Vortheil erreicht, dafs das Schiff schon in diejenige Richtung gekommen ist, in der es beim Lösen des Taues absegelt.

Wenn das Schiff im Hafen liegt, so kann es nicht leicht aus demselben heraussegeln, weil es noch nicht die nöthige Fahrt hat, um sicher dem Steuer zu folgen, alsdann aber die Gefahr eintritt, dafs es gegen andere Schiffe oder gegen die Hafenköpfe treibt. Nur bei sehr günstigem Winde ist dieses nicht zu besorgen. Das Schiff wird also gewöhnlich an denjenigen Kopf geholt, der an der Wind-Seite oder der Luvseite liegt. Wenn es hier die Segel beigesetzt und die Fangtaue eingezogen hat, so treibt es zwar anfangs noch stark vor dem Winde nach dem gegenüberliegenden Kopfe (auf der Leeseite), indem es aber nach und nach mehr Fahrt gewinnt, so kommt es dennoch von demselben frei. Sollte in dieser Beziehung die Gefahr nicht ganz verschwinden, so wird das Schiff entweder durch Bugsiren mittelst eines Ruderboots oder durch Warpen bis vor die Hafenmündung gebracht, wo es neben einer Buoye die Segel beisetzt. Kleine Dampfböte erleichtern wesentlich das Ausgehn der Schiffe, sie bugsiren solche aus dem innern Hafen bis auf die offene See, und da in der Zwischenzeit die Segel vollständig beigesetzt werden können, so braucht die Fahrt gar nicht unterbrochen zu werden, vielmehr segelt das Schiff sogleich weiter, wie das Schlepptau abgeworfen wird. Auch zum Einbringen der ankommenden Schiffe sind diese Dampfböte von grofser Bedeutung, da bei

Landwinden, wobei die See abstillt und häufig eine starke ausgehende Strömung eintritt, sie sehr bequem das Schiff ins Schlepptau nehmen können.

Liegt das Schiff, welches ausgehn soll, an einer Ufereinfassung, so ist es nicht leicht, dasselbe unmittelbar unter Segel gehn zu lassen, es sei denn, dafs der Wind es stark von der Uferseite träfe. Anders verhält es sich jedoch, wenn eine schwache Strömung dabei mitbenutzt werden kann. Der letzte Fall wiederholt sich nicht selten. In Pillau geschah dieses sogar sehr häufig. Die Schiffe, welche zum Ausgehn fertig waren, warteten den Eintritt des östlichen Windes ab und gleichzeitig mit diesem stellte sich auch die ausgehende Strömung ein. Die Schiffe wurden alsdann aus dem eigentlichen Hafen verholt und vor das sogenannte hohe Bohlwerk gelegt, welches das Tief oder die Verbindung zwischen dem Haff und der See auf der Nordseite begrenzt. Sie lagen hier aber verkehrt, so dafs ihr Hintertheil nach der See gerichtet war, und oft war der Wind so sehr südlich, dafs er sie stark an das Bohlwerk drückte und sie daher von dem letztern nicht frei gekommen wären, wenn man den Versuch gemacht hätte, sie unmittelbar abfahren zu lassen. In der bezeichneten Lage wurden die Segel aufgehifst und zunächst so gestellt, dafs sie sämmtlich parallel zum Winde standen, also der Einwirkuug desselben möglichst wenig ausgesetzt waren. Sodann löste man die Fangetaue des rückwärts gekehrten Vordertheils des Schiffs und setzte dasselbe mittelst Stangen vom Ufer ab. Es wurde alsbald vom Strom gefafst, der ohnerachtet des Windes die Drehung soweit vollendete, dafs das Schiff rechtwinklich gegen das Bohlwerk sich stellte. Nunmehr wurden die Segel in der Art gerichtet, als ob bei dem Winde gesegelt werden sollte, und in Folge dessen zogen sich die Fangleinen steif, an denen das Hintertheil noch immer gehalten wurde, um das Schiff nicht früher durch den Wind und Strom forttreiben zu lassen, bevor der Wind es von dem Bohlwerke entfernt hatte. Geschah dieses, so löste man die Fangtaue, und nunmehr vollendete es im freien Wasser die Drehung und nahm die Richtung nach dem Seegatt an.

§ 32.

Allgemeine Erfordernisse der Häfen.

Die Anforderungen, die an Seehäfen in Bezug auf ihre verschiedenartigen Bestimmungen zu stellen sind, wurden bereits oben (§ 29) bezeichnet. Ausser diesen giebt es noch gewisse allgemeine Erfordernisse, die sich auf alle Häfen beziehn. Diese dürfen um so weniger übergangen werden, als sie vorzugsweise für die eigentlichen hydrotechnischen Ausführungen mafsgebend sind.

Das wichtigste Erfordernifs ist die hinreichende Tiefe. Ein bestimmtes Maafs derselben läfst sich nicht angeben, da die Gröfse der einlaufenden Schiffe gemeinhin durch diese Tiefe bedingt wird und die localen Verhältnisse vielfach von der Art sind, dafs eine grofse Tiefe, wenn auch durch aufserordentliche Mittel momentan darzustellen, doch nicht dauernd zu erhalten ist. Die Mündungen mancher Häfen, so wie auch die Fahrwasser, die seewärts zu denselben führen, sind wie schon oben (§ 13) erwähnt, meist der Versandung ausgesetzt. Solche tritt vorzugsweise bei heftigem Wellenschlage und oft so schnell ein, dafs der Führer eines dahin bestimmten Schiffs von der inzwischen eingetretenen Verflachung noch nicht unterrichtet ist, und erst unmittelbar vor der Einfahrt hiervon Kenntnifs erhält. Er ist alsdann gezwungen, einen Theil der Ladung auf der Rhede an Lichterfahrzeuge abzugeben. Bei ungünstiger Witterung ist dieses nicht möglich, auch ist das Ankern während des Sturms auf einer ungeschützten Rhede höchst bedenklich, während das Zurückgehn nach der offenen See häufig ganz unmöglich wird. Die Versicherungs-Gesellschaften pflegen solche Verhältnisse auch zu würdigen, und die Gefahren, die dem Schiff vor einem Hafen drohn, den es unter ungünstigen Umständen nicht sogleich einlaufen kann, viel höher zu berechnen, als die wahrscheinlichen Schäden auf einer weit ausgedehnten Fahrt in offener See.

Beim Einlaufen in den Hafen während eines heftigen Wellenschlages kommt noch ein andrer wesentlicher Umstand in Betracht. Das Schiff behält nämlich nicht diejenige Lage, in der es auf ruhigem Wasser schwimmt. Während es von einer Welle

eingeholt wird, hebt es sich hinten und fällt mit dem vordern Theil herab, wenn es hier nicht mehr von der vorhergehenden Welle getragen wird. Es schlägt alsdann 1 auch wohl 2 Fuſs durch, und bedarf daher unter solchen Umständen einer um so gröſsern Wassertiefe. Ergiebt sich zum Beispiel aus dem Wasserstande am Pegel die Tiefe von 14 Fuſs in der Mündung, so kann ein Schiff von 12 Fuſs Tiefgang bei heftigem Wellenschlage schon leicht den Grund berühren. Geschieht dieses mit dem hintern Theil des Kiels, so wird dadurch zwar eine Erschütterung, oder ein Stoſs veranlaſst, der einen Leck verursachen, oder das Schiff sonst beschädigen kann, es ist aber nicht so gefährlich, als wenn beim Durchschlagen der vordere Theil des Kiels in den Grund stöſst und dadurch, wenn auch nur während der kürzesten Zeit, der Fortgang des Schiffs gehemmt wird. Das Trägheits-Moment des Schiffs, verbunden mit dem Druck des Windes auf die Segel und mit dem Stoſs der Wellen, veranlassen in diesem Fall eine Drehung, und in einem engen Fahrwasser ist die Strandung alsdann unvermeidlich.

Es sollte hier nur auf die überwiegende Wichtigkeit der Tiefe in der Hafenmündung oder in dem davor liegenden Fahrwasser aufmerksam gemacht werden. Die Frage, in welcher Weise dieselbe beschafft und sicher erhalten werden kann, erfordert ein näheres Eingehn, und wird daher in dem folgenden Abschnitt besonders behandelt werden. Hier wäre nur zu erwähnen, daſs dieses durch künstliche Vertiefung, oder durch Baggerung nicht immer möglich ist vor einem Hafen, der an der offnen See liegt. Man kann freilich an einzelnen Tagen während ruhiger Witterung auch hier den Bagger benutzen, wie dieses in der That geschieht, wenn aber bei heftigen Stürmen groſse Sand- oder Kiesmassen sich vorlegen, so kann man die ansegelnden Schiffe unmöglich warten lassen, bis vielleicht nach Monaten die Gelegenheit sich bietet, das Fahrwasser wieder aufzuräumen. An solchen Küsten, die vor Verflachungen nicht an sich schon gesichert sind, müssen daher die Hafenmündungen in andrer Weise geräumt und stets offen erhalten werden.

Daſs auch die Hafenbassins die nöthige Tiefe haben müssen, damit die Schiffe darin schwimmen können, bedarf kaum der Erwähnung, aber wohl muſs darauf aufmerksam gemacht

werden, dafs die Schiffe während des Sturms jedesmal mit grofser Geschwindigkeit einlaufen, und alsdann, wenn es Segelschiffe sind, weder schnell in eine andre Richtung gebracht, noch auch plötzlich angehalten werden können. Sie laufen also im Hafen selbst noch eine längere Strecke nahe in derselben Richtung fort, in der sie eingekommen sind. Es mufs dafür gesorgt werden, dafs sie dieses thun können, ohne die Hafenwände zu berühren, und ohne sich in flacheren Theilen des Hafens auf den Grund aufzusetzen.

Das Einlaufen aller Schiffe und namentlich der Segelschiffe wird wesentlich erleichtert, wenn dieses nicht in einer einzigen Richtung geschehen mufs, vielmehr ein Spielraum von mehreren Strichen nach jeder Seite geboten ist, ohne dafs man besorgen darf, die Schiffe dadurch gegen die Hafenwände zu steuern. Bei denjenigen Häfen, die mit langen und schmalen Eingängen versehen sind, wie manche unserer Ostseehäfen, ist dieses freilich nicht möglich, wohl aber bei solchen, die breite Bassins bilden, und deren Umfassungswände zu beiden Seiten der Mündung stark convergiren oder vielleicht direct gegen einander gerichtet sind. Als Beispiel eines solchen Bassinshafens ist Fig. 102 auf Taf. XVII der Hafen von Kingstown bei Dublin dargestellt.

Besonders wenn ein starker Strom vor dem Hafen vorbeistreicht, ist eine Mündung, die in verschiedenen Richtungen durchfahren werden kann, von grofser Bedeutung und erleichtert das Einlaufen der Schiffe. Sehr scharfe und plötzliche Wendungen sind mit dem Seeschiff nicht leicht auszuführen, man darf daher nicht etwa nahe an dem Ufer heraufkommen und alsdann plötzlich in den Hafen einzulaufen versuchen. Es ist vielmehr nothwendig, sich vom Ufer und dem Hafen etwas entfernt zu halten, und schon in einem gewissen Abstande dem Schiffe diejenige Richtung zu geben, die es beim Einsegeln haben mufs. Wenn die Segel des in der Fahrt begriffenen Schiffs auch jedesmal so gestellt werden, dafs der Wind dasselbe in seiner Längenrichtung nach vorn treibt, so bewegt es sich doch keineswegs jedesmal in dieser Richtung, weil es theils schon durch den Wind abgetrieben wird, wie oben gezeigt ist, theils aber geschieht dieses auch, und zwar oft sehr stark, in Folge der Strömung. Dieses

Abtreiben mufs genau berücksichtigt werden, und der am Steuer befindliche Seemann fafst deshalb nicht nur den Punkt, den er erreichen will, also etwa den Kopf des Hafendammes, ins Auge, sondern er betrachtet auch zugleich die Verschiebungen der dahinter belegenen Gegenstände. Ist er in die Linie gekommen, in welcher er einlaufen will, so richtet er keineswegs das Schiff auf jenen ersten Punkt, denn in solchem Falle würde es aus jener beabsichtigten Einseglungs-Linie herausgetrieben werden, vielmehr steuert er das Schiff so, dafs beide Bewegungen, die es macht, nämlich in seiner Längenrichtung und in der Abtrift, sich zu derjenigen Richtung vereinigen, die es sicher in den Hafen führt. Er kann sich auch leicht davon überzeugen, ob dieses der Fall ist, denn alsdann bleibt derselbe entferntere Gegenstand immer hinter dem vordern Punkt, ohne sich rechts oder links gegen denselben zu bewegen. Wenn dabei auch, wie meist der Fall ist, die Stärke oder die Richtung der Strömung in den verschiedenen Abständen vom Ufer sich ändert, so kann er dennoch in dieser Weise das Schiff stets in jener geraden Linie halten, so dafs es endlich, wenn es dem Strom ganz entzogen ist, noch in dieser Linie bleibt. Beim Einlaufen in den Hafen tritt freilich für kurze Zeit noch der sehr ungünstige Umstand ein, dafs der vordere Theil des Schiffs bereits durch den Hafenkopf gedeckt, also vom Strom nicht mehr getroffen wird, während das Hintertheil demselben noch ausgesetzt ist. In dieser Periode dreht das Schiff. Durch vorsichtige Führung desselben und indem man ihm vorher eine etwas andre Richtung gab, läfst sich jedoch auch dieses unschädlich machen, jedenfalls wird die Drehung aber wesentlich vermindert, wenn das Schiff mit grofser Geschwindigkeit einläuft. Dieses gilt eben sowol für Dampfschiffe, wie für Segelschiffe.

Hat ein Bassinhafen hinreichende Länge und Breite, so können die einlaufenden Segelschiffe darin aufdrehn und vor Anker gehn, während die Dampfböte auch hier durch Rückgang der Räder oder der Schrauben schnell zum Stillstande gebracht werden. Haben die Häfen dagegen lange und schmale Eingänge, in welchen nicht in der gewöhnlichen Art geankert werden kann, so müssen sie entweder so lang sein, dafs, nachdem die Mündung passirt ist, die Segel beseitigt werden können

und alsdann noch hinreichender Raum bleibt, um das Schiff auslaufen zu lassen, bis seine Geschwindigkeit beinahe vollständig aufhört. Ist dieses nicht möglich, so mufs in andrer Weise für die Verminderung der Geschwindigkeit gesorgt werden.

Das erste findet beispielsweise in dem Hafen von Swinemünde statt, Fig. 101, woselbst die Schiffe, nachdem sie den Kopf der am weitesten vortretenden Mole, nämlich der östlichen, erreicht haben, neben dem sehr gleichmässig und sanft gekrümmten östlichen Hafendamm und dem hieran anschliefsenden Ufer 750 Ruthen, also drei Achtel einer Deutschen Meile, in einem Fahrwasser von 30 und stellenweise sogar von 60 Fufs Tiefe auslaufen können. Dafs diese Anordnung besonders zweckmäfsig sei, läfst sich kaum sagen, denn das Fahrwasser ist bis zum alten Nothhafen oder auf 500 Ruthen Länge so beschränkt, dafs Schiffe hier nicht liegen können und unter schwierigen Verhältnissen selbst ein Begegnen derselben gefährlich wird. Ein sehr grofser Theil des Hafens ist also für dessen eigentliche Zwecke ganz nutzlos, und das Durchfahren desselben, das bei Winden, die nicht günstig sind, oder bei starkem Gegenstrom nur mit Hülfe von Dampf-Schleppbooten geschieht, verursacht vielfach grofsen Zeitverlust und Kostenaufwand.

Unter den Mitteln, die man anwendet, um die Geschwindigkeit des in den Hafen einlaufenden Schiffs zu mäfsigen, mufs zunächst das Stoppen mit Hülfe eines am Ufer befestigten Taues erwähnt werden. Dieses ist unter Andern beim Einlaufen in den eigentlichen Hafen von Pillau ganz gewöhnlich. Derselbe liegt nicht an der offnen See, sondern unmittelbar an der Ostseite der Stadt und mündet in das sogenannte Tief, welches die Mündung des Frischen Haffs bildet. Seewärts von demselben liegt die Untiefe oder Barre, die den zulässigen Tiefgang der aufkommenden Schiffe bedingt. Haben die letztern dieselbe passirt, so finden sie bis zur Hafenmündung tiefes und geräumiges Fahrwasser, wenn sie aber sogleich in den Hafen einlaufen wollen, vor dem oft noch ein bedeutender Wellenschlag, so wie auch meist eine starke Strömung statt findet, so müssen sie in voller Fahrt bleiben und die Segel dürfen erst nahe vor dem Hafen eingezogen werden. Sie treten also mit grofser Geschwindigkeit

ein und würden den bisherigen kleinen Hafen der ganzen Länge nach durchlaufen, ohne zum Stillstande zu kommen, während gemeinhin hier so viele Schiffe liegen, dafs ein Gegenstofsen dabei unvermeidlich wäre. Um solchen Unfällen zu begegnen, wird von dem einkommenden Schiff ein starkes Tau auf das Bohlwerk geworfen, welches auf der westlichen oder der Stadtseite die Hafenmündung begrenzt. Hier befinden sich jedesmal einige Zuschauer, die sehr bereitwillig das lose Tau um den Schiffshalter zweimal umschlingen und es mit einfachem Stich oder halbem Knoten daran befestigen. Nunmehr wird das andre Ende des Taues auf dem Schiff schnell angezogen, und um zwei neben einander befindliche Poller in einer Windung lose umgeschlungen. Um es hier sicher zu halten, fassen zwei Mann das Ende und ziehn es kräftig an. Ein augenblickliches Anhalten des Schiffs erfolgt keineswegs, dieses ist bei der grofsen bewegten Masse unmöglich. Sollte aber das Tau vollständig festgehalten werden, so würde es auch sogleich zerreifsen. Nur die Reibung an den Pollern bildet den Zug, der das Schiff aufhält, und um diesen möglichst zu verstärken, ohne das Gleiten des Taues zu verhindern, wird dasselbe rückwärts angezogen. So windet sich das Tau in scharfen Krümmungen ab, und in gleichem Maafse, wie dieses geschieht, fassen die Matrosen es immer weiter rückwärts. Das Tau spannt sich dabei sehr stark, und wie grofs die Reibung an den Pollern ist, giebt sich oft durch den Rauch zu erkennen, der in Folge der Erhitzung hier aufsteigt. Dieser Gegenzug ist indessen sehr wirksam, und nachdem das Schiff einige hundert Fufs weit gelaufen ist, hat seine Geschwindigkeit so abgenommen, dafs das Tau vom Schiffshalter abgeworfen und das Schiff ans Ufer gelegt werden kann.

Demnächst werden zu demselben Zweck auch zuweilen die Anker benutzt, deren Gebrauch jedoch in manchen Häfen strenge verboten ist. Man läfst einen leichten Anker, bei kleinern Schiffen auch wohl nur einen Dragger, vom Hintertheil des Schiffs herabfallen, dessen Tau oder Kette meist sogleich an einen Poller vollständig befestigt wird. Der Anker fafst keineswegs so sicher, dafs er nicht nachgeben sollte, er wird vielmehr wie eine Pflugschaar durch den Grund gezogen und der Widerstand, den er findet, bringt das Schiff nach und nach zum Stehn. Er ersetzt also jenes Umschlingen des Taues um die Poller.

Sollte die Geschwindigkeit des Schiffs sehr grofs und die Gefahr des Auflaufens augenscheinlich sein, so wagt man auch wohl, den schweren Hauptanker, der am Buge hängt, fallen und die Kette über die Winde ablaufen zu lassen, wobei sie eine starke Reibung erfährt und dadurch das Schiff bald zum Stehn bringt. Dieses Verfahren ist indessen nur zulässig, wenn der Hafen so tief ist, dafs das Schiff noch sicher über den Anker fortgehn kann, ohne ihn zu berühren. Sollte es auf denselben aufstofsen, so wäre ein Leck die unausbleibliche Folge. In dem Vorhafen des alten Docks in Bremerhaven sah ich einst dieses Auswerfen des grofsen Ankers. Der Vorhafen mündet in die Weser, die hier zwar nur etwa eine Viertel Deutsche Meile breit ist, aber bei Fluth und Ebbe starke Strömung hat. Das aufkommende Schiff mufste also mit starker Fahrt einsegeln, um neben dem Kopf des auf der nördlichen Seite belegenen Hafendamms sicher einzulaufen. Die Entfernung von diesem bis zur Schleuse mifst aber nur 1000 Bremer oder 920 Rheinländische Fufs, sie genügte also nicht, um mittelst des kleinen nachschleppenden Warp-Ankers das Schiff zum Stehn zu bringen, woher gleich darauf noch der Hauptanker herabfiel.

Die Benutzung der Anker für diesen Zweck ist nur möglich, wenn der Grund aus Sand oder Thon besteht, und aufserdem auch so rein ist, dafs das Heben des Ankers keine Schwierigkeit macht. In Felsboden greift der Anker nicht ein, oder wenn dieses geschehn sollte, wenn er also etwa einen Spalt träfe, so würde er sich so fest setzen, dafs es zweifelhaft wäre, ob man ihn wieder heben könnte, und wäre dieses nicht möglich, so würde er für die folgenden Schiffe höchst gefährlich werden. Wenn der Boden aus ziemlich ebenem Felsgrunde besteht, über den der Anker mit Leichtigkeit fortgezogen wird, ohne dafs er einen merklichen Widerstand veranlafst, so läfst sich dennoch künstlich der Anker hier aufhalten, und zwar so sicher, dafs er gar nicht nachgiebt, also wie ein fester Schiffshalter wirkt. Dieses geschieht dadurch, dafs eine *schwere Kette quer durch die Hafenmündung* gelegt und an beiden Enden sicher befestigt wird. Ehe das Schiff an diese Stelle gelangt, wird vom Hintertheil aus der Anker geworfen und sein Tau lose um zwei Poller geschlungen. Der Anker folgt alsdann dem Schiff, bis er die Kette fafst. Hier bleibt er plötzlich unbeweglich liegen, und

nunmehr zieht sich sein Tau in gleicher Art, wie oben beschrieben, über die Poller aus. In der Mündung des alten Hafens von Holyhead war eine solche Kette ausgelegt, welche die einsegelnden Schiffe oft benutzten, um nicht auf die Felsen im innern Hafen aufzulaufen.

Ein andres eigenthümliches Mittel zum Aufhalten der einsegelnden Schiffe war in dem kleinen Hafen Rügenwaldermünde im Gebrauch. Dieser Hafen war in seiner ganzen Länge sehr schmal, stellenweise sogar noch nicht 6 Ruthen breit, dabei zog er sich in ganz gerader Richtung nahe von Norden nach Süden. Seine Tiefe mafs in der Mündung gewöhnlich 9 bis 10 Fufs, doch war sie oft noch geringer, woher nur Schooner und Jachten einliefen, die meist mit Brennholz befrachtet wurden. Bei starken nördlichen Winden fand namentlich in der Mündung ein heftiger Wellenschlag statt, die Schiffe mufsten alsdann mit grofser Geschwindigkeit einkommen, um sicher zu steuern. In der Entfernung von 90 Ruthen von der Mündung befindet sich aber eine Zugbrücke, und vor dieser mussten sie angehalten werden. Man spannte deshalb ein starkes Tau, das sogenannte Hafentau, quer über den Hafen, so dafs es etwa 5 Fufs über dem Wasserspiegel schwebte. Gegen dieses liefen die Schiffe an und wurden dadurch zum Stehn gebracht. Dieses gewifs sehr gewaltsame Mittel ist keineswegs gefahrlos. Vor mehreren Jahren brach das Tau, obwohl es 3 Zoll im Durchmesser hielt und noch in gutem Zustand sich befand, die sehr gespannten Enden desselben schlugen dabei mit solcher Heftigkeit zurück, dafs dem Seemann, der es an der einen Seite befestigt hatte, der Fufs gebrochen wurde. Auch in Stolpmünde befand sich im dortigen Inventarium ein solches Tau, das jedoch, soviel ich erfahren konnte, niemals benutzt ist, weil keine Brücke diesen Hafen sperrt.

Die beiden zuletzt beschriebenen Vorkehrungen sind nur in wenigen Häfen zur Anwendung gebracht, dagegen findet man vielfach zu gleichem Zweck eine sogenannte Schlickbank, die bei der Vertiefung des Hafens immer unberührt bleibt. In einer angemessenen Stelle, und zwar vorzugsweise in einer zurücktretenden Ecke, welche weder bei der Bewegung der Schiffe, noch auch beim Anlegen derselben an die Ufer benutzt wird,

läfst man die weichen und schlammigen Niederschläge, die nie zu fehlen pflegen, sich ansammeln und zwar gemeinhin in solcher Höhe, dafs sie den mittleren Wasserstand nahe erreichen. Wenn nun alle Mittel versagen, um das einlaufende Schiff rechtzeitig zum Stillstande zu bringen, oder wenn gerade in dieser Zeit der Hafen beim Verholen von andern Schiffen gesperrt sein sollte, so setzt man es auf jene Bank, und indem es darin eine tiefe Furche einschneidet, steigt es zugleich hoch auf, so dafs sein Vordertheil sich um mehrere Fufs erhebt. Es erfährt dabei allerdings einen heftigen Stofs, so dafs einige Fugen sich zu öffnen pflegen, auch wohl Theile der Takelage brechen, überdiefs verursacht es meist nicht geringe Mühe, um es später wieder loszuwinden, aber jedenfalls sind diese Uebelstände doch geringer, als wenn es in voller Fahrt auf andre Schiffe oder gegen fest verbundene Hafenwände gelaufen wäre.

Von der äufsersten Wichtigkeit ist ferner, dafs der Hafen von starker Wellenbewegung frei bleibt. Der Hafen selbst hat wohl nie solche Ausdehnung, dass bei heftigen Winden nachtheilige Wellen sich darin bilden können, es kommt daher darauf an, dafs diese nicht ungeschwächt von dem Meere aus hineindringen und sich darin weit fortsetzen. Der Wellenschlag ist für ein Schiff am wenigsten gefährlich, wenn es sich unter Segel befindet. Es kann freilich durch die fortdauernden Erschütterungen und Schwankungen in seiner Verbindung leiden, auch wird bei heftigem Seegange seine Führung erschwert, da es aber stets vom Wasser getragen wird und nur dieses berührt, so bleiben die Stöfse doch sanft, und aufserdem veranlafst der ziemlich gleichmäfsige Druck des Windes gegen die Segel eine Unterstützung, welche die Schwankungen mäfsigt. Selbst bei Dampfböten pflegt man in heftigem Seegang einige Segel beizusetzen, um das starke Rollen zu schwächen. Viel bedenklicher ist es schon, wenn bei heftigem Wellenschlage der Wind plötzlich ganz aufhört, weil alsdann die Schwankungen stärker werden. Noch übler ist es aber, wenn in solchem Fall das Schiff vor Anker liegt. Es ist alsdann grofse Vorsicht nothwendig, um das Brechen des Ankertaues oder der Ankerkette zu verhindern, auch der Anker selbst liegt nicht absolut fest, er wird vielmehr langsam durch den Grund gezogen und leistet um so weniger Wider-

stand, je steiler das Tau oder die Kette ansteht, oder je kürzer diese sind.

Es ergiebt sich hieraus, dafs in einem Hafen, wo die Räumlichkeit doch gewöhnlich beschränkt ist, das Ankern bei heftigem Wellenschlage nicht als gefahrlos angesehn werden kann. Sehr vortheilhaft ist es daher, wenn in dem Hafen grofse schwimmende Buoyen liegen, die mit starken Ketten an Grundschrauben befestigt sind. Das einkommende Schiff darf alsdann nur mittelst eines durch den Ring der Buoye hindurchgezognen Taues oder einer Kette gehalten werden, um vor dem Treiben gesichert zu sein.

Viel nachtheiliger ist der Wellenschlag, wenn die Schiffe von freistehenden mit einander verbundenen Pfählen, oder von sogenannten Duc d'Alben gehalten werden. Indem diese gar nicht nachgeben, so verursacht jede Welle ein heftiges Anspannen der Kette oder des Taues, wobei diese leicht brechen. Am übelsten ist es aber, wenn die Schiffe am Ufer befestigt sind, also entweder unmittelbar vor diesem, oder vor andern Schiffen liegen. Ein starkes Reiben und Stofsen ist alsdann während des Wellenschlags unvermeidlich.

Endlich kommt beim Wellenschlage auch noch der Umstand in Betracht, dafs die Schiffe dabei bald vorn und bald hinten tiefer eintauchen, als wenn sie bei gleichem Wasserstande sich in Ruhe befinden. Dieses Herabsinken oder Durchschlagen beträgt wohl 1 bis 2 Fufs, und wenn der Kiel dabei vorn oder hinten den Grund berührt und dieser nicht ganz weich ist, so treten heftige Erschütterungen ein, wobei das Schiff leidet, und falls es auf Felsboden aufstöfst, selbst während es im Hafen liegt, noch verunglücken kann.

Man mufs sonach das Eintreten der Wellen in die Häfen verhindern, oder wenn dieses nicht möglich sein sollte, Vorkehrungen treffen, dafs die Wellen schon in oder nahe hinter der Hafenmündung sich mäfsigen. Es giebt Häfen, in welchen dieses nicht entfernt erreicht wird, wo vielmehr bei gewissen Winden die Schiffe grofser Gefahr ausgesetzt sind und Unglücksfälle sich alsdann nicht vermeiden lassen. In dieser Beziehung sind manche wichtige Erfahrungen gemacht, wonach man vielfach Einrichtungen

getroffen hat, diesen Uebelstand zu beseitigen. Im Folgenden wird hiervon eingehend die Rede sein.

Demnächst kann auch der Wind, ganz abgesehn von den einlaufenden Wellen, die Benutzung des Hafens erschweren und unter Umständen sogar die darin liegenden Schiffe schädigen. Da diese sowohl in ihrem Körper, als auch in den Masten, Raaen und sonstigen Hölzern und dem Tauwerk eine grofse Angriffsfläche bieten, und der Sturm niemals ganz gleichmäfsig, sondern immer stofsweise wirkt, so werden die Taue, mittelst deren das Schiff befestigt ist, abwechelnd stark in Anspruch genommen, indem sie bei ihrer Elasticität sich aber gleich darauf wieder etwas verkürzen und also auch das Schiff anziehn, so wird letzteres bei dem nächsten Stofs wieder fortgetrieben und das Tau mufs dem Moment dieser Bewegung und zugleich der Kraft des Windes widerstehn, wobei leicht ein Bruch erfolgt. In Pillau geschah es, dafs bei solcher Gelegenheit die starken Eichenpfähle, woran die Schiffe befestigt waren, gelöst und so weit übergeneigt wurden, dafs die Ketten und Taue nicht mehr sicher daran hafteten. In andern Häfen sind in solchem Fall sogar die Schiffsringe aus den Kaimauern gerissen, doch zeigen diese Erfahrungen nur, dafs man die Pfähle oder Ringe so befestigen mufs, dafs sie den nöthigen Widerstand zu leisten im Stande sind, wozu wohl jedes mal Gelegenheit sich bieten dürfte. Besonders heftig werden zuweilen die vor Triest liegenden Schiffe von dem über die kahle Fläche des Karst streichenden Ostwinde, die Bora genannt, getroffen. Im Hafen selbst und auf der Rhede bilden sich dabei keine Wellen, wohl aber ist der Druck und Stofs des Windes gegen die Schiffe so heftig, dafs hier ganz ungewöhnliche Constructionen zur Darstellung sicherer Festpunkte gewählt werden mufsten, die später bezeichnet werden sollen.

Wie schon oben (§ 29) erwähnt ist, mufs jeder Hafen auch solche Breite haben, dafs Schiffe vor beiden Ufern und zwar in mehreren Lagen hinter einander liegen können und dennoch zum Verholen andrer Schiffe und zum Begegnen von solchen hinreichender Raum bleibt. Ist dieses der Fall, so genügt die Breite auch zum Wenden der Schiffe, wenigstens an solchen Stellen, die nicht besetzt sind. Ist der Hafen dagegen schmaler, so mufs unbedingt dafür gesorgt werden, dafs das Wenden irgendwo inner-

halb desselben erfolgen kann, denn rückwärts die Schiffe ein- oder auszubringen ist, wenn die Mündung an offner See liegt, nicht zulässig. Selbst die Dampfböte, die von Bremen nach Bremerhaven gehn, die also die See nicht berühren, sondern nur auf der Weser bleiben, wagt man nicht rückwärts in die bei niedrigem Wasser überaus schmale Geeste einlaufen oder ausgehn zu lassen. Da dieselben jedoch hier nicht wenden und wegen des kurzen Aufenthalts vielfach auch nicht das Hochwasser abwarten können, so hat man sich dadurch geholfen, dafs ein zweites Steuer am Vordersteven eingehängt wird, und sie vor diesem einlaufen.

Will man den einkommenden Schiffen Gelegenheit geben, im Hafen selbst vor Anker zu gehn, so mufs die Breite, wenn auch nur auf kleinere Handelsschiffe Rücksicht genommen wird, doch wenigstens etwa 50 Ruthen betragen. Eine wesentliche Erleichterung wird hierdurch unbedingt geboten, doch fehlt sie in der grofsen Mehrzahl der Häfen und kann daher nicht als dringendes Bedürfnifs angesehn werden.

Ein andrer Grund, der für die grofse Breite spricht, bezieht sich darauf, dafs alsdann das Verhältnifs zwischen dem Hafenraum und der Länge der Umschliefsung desselben sich vortheilhafter herausstellt. Eine gewisse Anzahl von Schiffen soll im Hafen untergebracht werden, und dieses wird mit den geringsten Kosten erreicht, wenn man grofse Breiten wählt, weil die Einfassungen, mögen sie massiv sein, oder in hölzernen Bohlwerken bestehn, in der Anlage, und die letzteren auch in der Unterhaltung überaus theuer sind. Zu dem grofsen Mifsverhältnifs, das sich bei manchen, und namentlich bei einigen Preufsischen Seehäfen in dieser Beziehung herausstellt, hat vorzugsweise der Umstand Veranlassung gegeben, dafs man die ursprünglichen Mündungen nach und nach immer weiter herausgeführt hat. Besonders ist dieses beim Hafen Neufahrwasser geschehn, der auf diese Weise eine Länge von 600 Ruthen erhalten hat und durchschnittlich nur etwa 15 Ruthen breit ist. An einzelnen Stellen mifst seine Breite sogar nur 10 Ruthen, und hier kann kein Schiff liegen, ohne das Vorbeifahren von andern zu verhindern. Im Hafen Swinemünde (Fig. 101) ist dieser Uebelstand nicht sowohl durch die grofse Nähe der beiderseitigen Ufer-

einfassungen veranlafst, als vielmehr dadurch, dafs die sehr ausgedehnte Sandbank, die Joachims-Fläche genannt, die schon bei der Anlage des Hafens mit umschlossen wurde, niemals beseitigt ist und seit jener Zeit noch an Höhe, vielleicht auch an Breite zugenommen hat.

Wenn man einem bestehenden sehr engen Hafen die nöthige Ausdehnung geben soll, damit er eine gröfsere Anzahl von Schiffen fassen kann, so geschieht dieses in einfachster Weise durch Seiten-Bassins. Zu diesem Zweck wird gegenwärtig im Hafen Neufahrwasser ein Bassin ohnfern seiner Mündung und zwar an der östlichen Seite erbaut. Dasselbe Verfahren ist auch allgemein üblich in solchen Häfen, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, in welchem Fall diese Bassins sich in Docks verwandeln und das Hochwasser dauernd zurückhalten.

Andrerseits, und namentlich wenn die Verflachungen vor dem Hafen sich weit ausgedehnt haben und eine Verlängerung der Dämme sich als nothwendig herausstellt, legt man diese, oder wenigstens einen derselben so weit zurück, dafs ein weites Bassin oder ein geräumiger Vorhafen sich bildet. Dieses ist beispielsweise in Stolpmünde und Rügenwalder-Münde geschehn, und dadurch der wichtige Vortheil erreicht, dafs die alten Häfen vollständig ausgenützt werden können, indem der Wellenschlag darin beseitigt ist, auch die Schiffe nicht mehr in voller Fahrt einlaufen, vielmehr sicher eingeführt werden und daher den Verkehr im Innern nicht mehr stören.

Als ein Beispiel solcher Aenderung mag auch der Fig. 100 in der Situation dargestellte Hafen Lowestoft erwähnt werden, der, im Norden der Themse-Mündung belegen, an dem Ufer von Suffolk auf dem Punkte ausgeführt ist, der sich an der ganzen Englischen Küste am weitesten nach Osten erstreckt. Es existirte früher hier kein Hafen, auch keine Flufsmündung, doch befindet sich dicht hinter dem Strande ein kleiner Binnensee, der See Lothing*) benannt, der etwa eine halbe Deutsche Meile lang ist. Auf Cubitt's Vorschlag wurde in den Jahren 1827 bis 1829 dieser See mit einer neuen Ausmündung versehn, und letztere

*) John Rennie, the theory, formation and construction of British and foreign Harbours. London 1854. p. 233.

bildete den Hafen, der jedoch nur 150 Fuſs breit war, und worin Schiffe bis etwa 10 Fuſs Tiefgang selbst bei niedrigem Wasser liegen sollten. Die Figur zeigt in den punktirten Linien diese ältere Anlage. Am hintern Ende des Hafens befand sich eine Spülschleuse, welche bei kleinem Wasser und namentlich zur Zeit der Springfluthen dem Hafen seine Tiefe erhalten sollte, indem jener See, der bei Hochwasser gefüllt wurde, als Spülbassin diente. Der Fluthwechsel beträgt bei Voll- und Neumonden nahe 10 Fuſs.

Wenn diese Anlage auch für einen beschränkten Verkehr sich brauchbar erwies, so stellte sie sich doch bald als nicht genügend heraus. Die geringe Räumlichkeit im Hafen, seine sehr mäſsige Tiefe, und der heftige Wellenschlag bei Ostwinden forderten dringend eine Verbesserung, die auch wenige Jahrzehnte später, als die Eisenbahn nach Norwich und Yarmouth erbaut wurde, zur Ausführung kam. Die alten Hafendämme wurden beseitigt, und dafür ein weiter Vorhafen von 110 Ruthen Länge und 55 Ruthen Breite angelegt, dessen nach Südost gerichtete Oeffnung auf 20 Fuſs Tiefe bei Niedrigwasser der Springfluthen lag und 150 Fuſs weit war. Indem man bis zu dieser Tiefe herausging, glaubte man eine spätere Verflachung nicht besorgen zu dürfen und demnach die Spülung entbehren zu können. Man verwandelte dabei jene Spülschleuse in eine Dockschleuse und dadurch wurde der See zu einem geräumigen Binnen- oder Flotthafen umgebildet, in welchem das Hochwasser zurückgehalten wird.

Ferner sind zu erwähnen die verschiednen Vorrichtungen zum Befestigen der Schiffe, und zwar eben sowol, wenn diese frei im Hafen, oder unmittelbar an den Ufereinfassungen sich befinden. Im ersten Fall sind vorzugsweise die Buoyen von Wichtigkeit. Diese bestehn aus Tonnen, oder noch besser aus groſsen und flachen eisernen Cylindern, die auf dem Wasser schwimmen und mittelst starker Ketten gehalten werden. In früherer Zeit benutzte man zu ihrer Befestigung schwere und zwar einarmige Anker, die also nicht über die Sohle des Hafens vorragten, folglich auch nicht besorgen lieſsen, daſs Schiffe dagegen stoſsen könnten. Gegenwärtig werden die Ketten meist an kurze und breite Grundschrauben aus Eisen befestigt, die unter der Sohle des Hafens bleiben. Auſserdem sind auch vielfach die sogenannten Duc d'Alben im Gebrauche. Sie

bestehn aus mehreren schräge eingerammten Pfählen, deren Köpfe über Wasser zusammenstofsen und durch Bolzen oder scharf aufgetriebene Ketten mit einander verbunden sind.

Zum Befestigen der Schiffe auf dem Ufer werden auf Letzteres Schiffshalter gestellt, die meist nur aus starken Eichen-Stämmen bestehn, deren Befestigung jedoch mit grofser Vorsicht erfolgen mufs, damit sie bei heftigen Winden nicht umgerissen werden. Aufserdem sind diese Pfähle auch sehr vergänglich und werden daher namentlich auf massiven Kaimauern durch gufseiserne Cylinder, zuweilen durch alte Kanonen ersetzt, welche mit den abwärts gekehrten Mündungen auf passend geformten und eingemauerten eisernen Spindeln stehn. Häufig werden auch in der äufsern Mauerfläche Schiffsringe angebracht, die bereits im zweiten Theil dieses Handbuchs § 73 beschrieben sind. Dieselben dürfen aber, so lange sie nicht benutzt werden, nicht vor die Mauer vortreten, auch müssen sie in Seehäfen immer sehr sicher verankert werden.

Aufserdem ist dafür zu sorgen, dafs die Schiffe beim Wellenschlage nicht gegen Mauern reiben, woher diese mit vortretenden Reibehölzern in geringen Abständen versehn sind. Gröfsere Schiffe werden auch, besonders wo einiger Fluthwechsel stattfindet, gegen lange Rahmen gelehnt, deren eine Seite beim Steigen und Fallen des Wassers sich mit dem Schiffe hebt und senkt, während die andre vor den Schiffshaltern auf dem Ufer liegt.

Seitdem eiserne Schiffe allgemein Eingang gefunden, hat sich in neuester Zeit noch ein bisher unbekanntes Bedürfnifs, namentlich in gröfsern Häfen, als sehr dringend herausgestellt. Dieses ist ein passend gelegener, hinreichend grofser und dem Wellenschlag nicht ausgesetzter Raum, auf dem der Compas berichtigt werden kann. Durch die grosse Eisenmasse, die den an bestimmter Stelle auf dem Schiff stehnden Compas umgiebt, wird nämlich die Richtung der Magnetnadel verändert und zwar ist die Aenderung gegen ihre normale Stellung bei jeder Lage des Schiffs eine verschiedene. Es kommt also darauf an, dafs letzteres, ohne den Verkehr im Hafen zu unterbrechen, zwischen mehrere Buoyen in verschiedne, durch entfernte Festpunkte markirte Richtungen gebracht werden kann, wobei jedesmal die Stellung

der Magnetnadel abgelesen wird. Auch beim Befrachten eines hölzernen Schiffs mit Eisen mufs dasselbe Verfahren beobachtet werden. Nachdem diese Messungen gemacht sind, ist es leicht, für jeden Curs, den man verfolgen will, die Abweichung der Nadel zu ermitteln.

Endlich sind Anlagen zum Ausbessern der Schiffe ein dringendes Bedürfnifs für jeden Hafen. Kommt es nur darauf an, die Fugen in geringer Tiefe unter Wasser zu dichten, so braucht das Schiff nur wenig seitwärts geneigt oder nur gekrängt zu werden, und hierzu bedarf es keiner kostbaren Anlagen. Anders verhält es sich, wenn der ganze Rumpf des Schiffs gereinigt und bis zum Kiel herab alle Fugen gedichtet, auch wohl schadhafte Planken durch neue ersetzt werden sollen. In Häfen, die keinen Fluthwechsel haben, hilft man sich in solchem Fall gemeinhin damit, dafs man das Schiff kielholt, oder es soweit auf die Seite legt, dafs sein Kiel über Wasser tritt. Dabei wird indessen das Schiff ohnerachtet der darauf angebrachten Absteifungen dennoch sehr angegriffen. Aufserdem ist das Umlegen eine mühsame und zeitraubende Operation und man bedarf sehr fester Kielbänke, weil sonst das Schiff die Pfähle aushebt und sich wieder aufrichtet. In neuerer Zeit werden statt der Kielbänke auch Kiel-Prahme benutzt. Jedenfalls tritt noch der Uebelstand ein, dafs bei mässigem Wellenschlag und selbst beim Vorbeifahren eines Dampfboots sowol das Schiff als auch die auf dem davor liegenden Flofs beschäftigten Zimmerleute der Gefahr ausgesetzt bleiben, dafs die Taue zerreifsen, die das Schiff niederdrücken.

Vortheilhafter ist es daher, bei gründlichen Reparaturen das Schiff ganz aus dem Wasser zu bringen. Wo keine andern Einrichtungen für diesen Zweck bestehn, windet man dasselbe mittelst Erdwinden und Flaschenzügen auf die Hellinge oder Slips. Dieses sind geneigte Flächen, auf denen auch Schiffe neugebaut und in das Wasser herabgelassen werden. Zur Erleichterung dieser Operation stellt man zuweilen die Schiffe auf ausgedehnte Rüstungen, die mittelst einer grofsen Anzahl von Rädern auf Eisenbahnen ruhn. Solche Rüstungen werden so tief unter das Wasser herabgelassen, dafs das Schiff, während es noch schwimmt, auf dieselben sich aufstellt. Endlich erleichtert man in Häfen,

die keinen Fluthwechsel haben, das Aufwinden der Schiffe noch dadurch, dafs jene Hellinge auf dem Ufer einige Fufs tief unter Wasser herabgeführt und, nachdem das Schiff darin ist, wasserdicht abgeschlossen und ausgepumpt werden. Andrerseits kann man die Schiffe auch zwischen starken Rüstungen mittelst hydraulischer Pressen senkrecht aus dem Wasser heben, oder dieses geschieht, indem grofse mit Wasser gefüllte Kasten von Holz oder Eisen darunter gebracht werden. Beim Auspumpen der letztern heben diese sich mit dem darauf stehnden Schiff. Dieses sind die schwimmenden Docks, die in neuester Zeit vielfach Anwendung gefunden haben.

In Häfen, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, ist das Krängen und Kielholen der Schiffe entbehrlich, auch finden dort die schwimmenden Docks keine Anwendung. Eben so wird in den daselbst eingerichteten geschlossenen Bassins oder Flotthäfen von diesen Vorrichtungen nicht leicht Gebrauch gemacht, weil durch den wechselnden Wasserstand die Trockenstellung der Schiffe aufserordentlich erleichtert wird. So sah ich einst eine Brigg, deren Tiefgang etwa 12 Fufs betrug, beim Beginn der Ebbe auf eine sehr ebene Fläche an der Westseite des Cherbourger Handelshafens aufsetzen. Dieselbe wurde sogleich auf beiden Seiten durch starke Bäume gestützt und sobald das Wasser sank und die Planken nach und nach hervortraten, wurde die Reinigung begonnen, und die Wasserpflanzen und Muscheln, die sich angesetzt hatten, mit Kratzeisen abgeschabt. Als endlich noch vor dem Eintritt des niedrigsten Wassers das Schiff bis auf den Kiel sichtbar wurde, war die Reinigung bereits beendigt und man zündete nunmehr auf beiden Seiten Haufen von Reisig an, um den Rumpf zu erwärmen und ihn dadurch an der Aufsenfläche etwas abzutrocknen. Beim Anfange der Fluth wurde neben dem Kiel das Anstreichen mit heifsem Theer begonnen und dieses so schnell rings umher fortgesetzt, dafs alle Planken gestrichen waren, bevor das Wasser sie erreichte. In dieser Weise hatte man ohne Benutzung irgend einer baulichen Anlage in der kurzen Zeit einer einzigen Fluthperiode den ganzen Körper des Schiffs gereinigt und mit frischem Theeranstrich versehn.

Um in gleicher Weise leichte Reparaturen bequem ausführen zu können, sind in manchen Häfen, woselbst ein starker Fluth-

wechsel statt findet, vor hohen Ufermauern horizontale hölzerne Böden in der Höhe des Niedrigwassers angebracht. Wird das Schiff während Hochwasser darüber geführt, so steht es gegen Ende der Ebbe ganz frei. Beispielsweise befindet sich in Dieppe eine Anlage dieser Art.

Auch bei der Anwendung der Hellinge und jener mit Eisenbahnen versehnen Slips bietet der Wasserwechsel wesentliche Erleichterungen, vorzugsweise wird aber in solchem Fall das Trocken-Dock benutzt, das bei allen Reparaturen von Schiffen, und namentlich von grofsen Schiffen, die gröfste Bequemlichkeit, so wie auch andre wesentliche Vorzüge bietet. Es hat in seiner Anordnung und Construction Aehnlichkeit mit einer Schiffsschleuse, die jedoch an der Landseite mit keinem Ausgange versehn ist, indem die beiden Seitenmauern hier in einem Bogen sich vereinigen und das Bassin abschliefsen. Das Dock liegt in solcher Höhe, dafs zur Zeit des Hochwassers das auszubessernde Schiff hineingebracht werden kann, und hinter ihm wird die Eingangs-Oeffnung durch Stemmthore, oder wie gegenwärtig allgemein geschieht, durch ein passend geformtes schwimmendes Ponton abgeschlossen. Canäle, die in dem letztern oder in den Seitenmauern angebracht sind, leiten beim Eintritt der Ebbe das Wasser ab, und indem sie später geschlossen werden, so lassen sie die folgenden Fluthen während der ganzen Dauer der Reparatur nicht eindringen. Wo der Fluthwechsel sehr bedeutend ist, entleert sich während der ersten Ebbe das ganze Dock, ohne dafs dazu Pumpwerke benutzt werden dürften. Dieser Fall ist jedoch nicht der gewöhnliche, vielmehr ist gemeinhin noch eine Dampfmaschine daneben aufgestellt, die das zurückbleibende Wasser ausschöpft.

Die festen Mauern eines solchen Docks sind bei Reparaturen grofser Schiffe, und namentlich der Kriegsschiffe, von besondrer Wichtigkeit. Man legt daher Trockendocks auch in solchen Häfen an, wo der Fluthwechsel nur unbedeutend ist, wie etwa im Hafen Nieuwen-Diep, oder wo dieser auch ganz fehlt, wie in Carlscrona. Jedes Schiff ist nämlich gewissen Formveränderungen unterworfen, welche durch die darauf wirkenden Kräfte bedingt sind, und das grofse erleidet diese mehr, als das kleinere, weil sein innerer Zusammenhang vergleichungsweise geringer ist. So lange es schwimmt, ist es dem Druck des umgebenden Wassers ausgesetzt,

dieser hört aber auf, sobald es im Trocknen steht, und die Seitenwände weichen alsdann aus, soweit die innere Verbindung es gestattet. Dieser nachtheiligen Formveränderung kann man nur durch kräftige Verstrebung begegnen. Das schwimmende Dock bietet hierzu wenig Gelegenheit, weil es an sich nicht die nöthige Steifigkeit hat. Das auf dem Helling stehende Schiff kann zwar abgesteift werden, aber dieses ist nur möglich, nachdem es bereits heraufgewunden ist. Während des Aufwindens, also während der Zeit, wo die Formveränderung schon eintritt, läfst sich diese nicht verhindern. Nur wenn das Schiff zwischen starken Seitenmauern nach und nach dem Gegendruck des Wassers entzogen wird, bietet sich Gelegenheit, durch vielfache Absteifung gegen diese Mauern diejenige Form zu erhalten, welche das Schiff, so lange es schwamm, angenommen hatte.

Man hat in früherer Zeit auch in den Trocken-Docks neue Schiffe gebaut, und dieses vorzugsweise in der Absicht, um das Ablassen vom Stapel zu vermeiden, wobei die Schiffe wegen der momentan sehr ungleichförmig eintretenden Unterstützung und wegen des heftigen Stofses beim Herabfallen ins Wasser angegriffen werden und in ähnlicher Weise leiden, als wenn sie auf den Grund stofsen. Die Erfahrung hat aber gelehrt, dafs die dumpfe und feuchte Luft in den Trocken-Docks während der langen Dauer des Neubaues dem Holz überaus nachtheilig ist, und dafs namentlich die Trockenfäule bei diesen Schiffen bald sich zu zeigen pflegt und deren Dienstzeit oft nur auf wenige Jahre beschränkt. Hierzu kommt auch der Umstand, dafs die grofsen Kosten eines Trocken-Docks sich nicht gehörig verwerthen, wenn ein solches mehrere Jahre hindurch für einen einzigen Bau in Anspruch genommen wird.

Von diesen verschiednen Anlagen zur Reparatur der Schiffe, wozu auch noch andre Arten von Docks gehören, wird später eingehend die Rede sein.

Dafs in jedem gröfsern Hafen eine Lootsenstation eingerichtet sein muss, ist bereits erwähnt. Gewöhnlich ist solche auch mit einer Rettungs-Station verbunden, während diese auch häufig auf entlegnen Küstenpunkten sich befinden.

Von grofser Bedeutung ist für die Ostseehäfen die Frage, ob sie während des Winters häufig und längere Zeit hindurch

durch Eis versetzt und deshalb geschlossen sind. Eben so kommt bei den an Strommündungen belegnen Häfen auch der Eisgang in Betracht. Gegen den letztern giebt es wohl sichere Schutzmittel, aber das Zufrieren läfst sich nicht verhindern, und es bleibt alsdann nur übrig, die Eisdecke, wenn sie nicht zu stark ist, wieder zu beseitigen.

Die sogenannten Winterhäfen in den drei Hinter-Pommerschen Häfen hatten ursprünglich nur den Zweck, die Schiffe gegen den Eisgang zu sichern. In Memel sind zwar in früherer Zeit kräftige Eisbrecher vor dem Ufer im Tief erbaut, doch suchten die Schiffe meist in der Dange Schutz und später ist ein ausgedehnter Binnenhafen erbaut, der im Anschlufs an die Eisenbahn für den Verkehr, zugleich aber als Winterhafen dient. In Swinemünde wird die Liegestelle der Schiffe durch die Insel, die Grüne Fläche genannt, gegen das treibende Eis geschützt, während auch der Nebenarm der Swine, westlich von dieser Insel, vielfach benutzt wird. In Hamburg und Altona legt man starke Flöfse, die mit dem Fluthwechsel sich heben und senken, zwischen den äussern Duc d'Alben vor die Schiffe. Diese nehmen den Stofs der gröfsern Schollen auf und verhindern dieselben, in den dahinter belegenen Raum einzudringen.

Was das Zufrieren der Häfen betrifft, so hängt dasselbe nicht allein von dem Breitengrade, sondern auch von der Situation des Hafens ab. Nicht selten ist von zweien benachbarten Häfen einer offen, während der andre sich schon mit Eis bedeckt. Bei uns tritt die strengste Kälte bei östlichen Winden ein, bei westlichen Winden dagegen ist die Witterung milder, daher pflegen diejenigen Häfen, die den letztern mehr ausgesetzt sind, später zuzufrieren und sich früher zu öffnen. Der kleine Nothhafen im Zicker See, am östlichen Ende des Greifswalder Boddens ist in dieser Beziehung günstiger situirt, als Swinemünde, und eben so können auch zuweilen Schiffe noch in Colbergermünde einlaufen, während Swinemünde bereits geschlossen ist. In Bezug auf Swinemünde mufs indessen erwähnt werden, dafs die tiefe und stark durchströmte Rinne vorlängs der Ostmole sich nur sehr selten mit Eis bedeckt, also wohl Schiffe eingebracht werden könnten, wenn die See neben dem Ufer nicht zugefroren ist, dafs aber weiter aufwärts, wo das Profil sich sehr erweitert, die

Eisdecke so fest liegt, dafs die Schiffe nicht zu den Liegeplätzen gelangen können. Colbergermünde ist den Westwinden mehr ausgesetzt, und diese erschweren die Eisbildung vor dem Hafen, aufserdem ist der Weg von der Mündung bis zu den Liegeplätzen viel kürzer, woher er leichter geräumt werden kann. In Pillau, wo freilich zuweilen bei ungewöhnlicher Kälte die See auf meilenweite Entfernung zufriert, so dafs man vom Leuchtthurm aus kein offenes Wasser sehn kann, geschieht es nicht selten, dafs der Hafen sich mit Eis bedeckt, während die See und das Tief noch frei sind. Dieser Uebelstand ist um so empfindlicher, als gerade während des Winters sich hier der lebhafteste Verkehr mit Russischen Producten entwickelt, weil die Russischen Häfen, wie auch Memel, sich früher schliefsen. In dem Hafen selbst mufs sonach das Eis so weit beseitigt werden, dafs die Schiffe ein- und ausgehn können.

Hat das Eis nur die Stärke bis zu 1 Fufs, so werden grofse Schollen von der für die Schiffahrt genügenden Breite mit der Eisaxt getrennt und aus dem Hafen geschoben. Bei gröfserer Stärke wird die Eissäge benutzt, die noch Schollen von 2 Fufs Dicke durchschneidet. Gegenwärtig ist es aber Absicht, ein Dampfboot zu erbauen, welches das Eis zerbricht, indem es sich darauf schiebt. Man hofft, durch dasselbe die Eisdecken immer zu zerstören, bevor sie besonders stark geworden sind, und den Hafen so lange offen zu erhalten, als der Sund nicht zufriert. Geschieht Letzteres, so hört die Ostsee-Schiffahrt ganz auf.

§ 33.

Mäfsigung des Wellenschlages.

Wenn Schiffe befrachtet, oder entladen werden, so müssen sie entweder an Kais liegen, oder Lichterfahrzeuge zur Seite nehmen, und in beiden Fällen ist eine unmittelbare Berührung mit diesen oder jenen nothwendig. Solche darf indessen nur in ruhigem Wasser statt finden, weil bei bewegter See heftige Stöfse erfolgen würden, wobei Beschädigungen der Schiffe unvermeidlich wären. Weniger nachtheilig ist der Wellenschlag, wenn das

Schiff frei im Hafen vor Anker liegt, aber auch alsdann darf die Bewegung nicht so heftig, wie in der offenen See sein, weil sonst keine Veranlassung wäre, solchen Zufluchtshafen aufzusuchen.

Zur Mäfsigung des Wellenschlages im Hafen giebt es verschiedene Mittel. Die Richtung der Mündung kommt dabei unbedingt in Betracht, doch läfst sich, wie später angegeben werden wird, in dieser Beziehung nicht jede beliebige Wahl treffen, indem andre Rücksichten vorzugsweise mafsgebend sind. Aufserdem wird die starke Bewegung auch keineswegs verhindert, wenn die Wellen nicht direct eintreten, vielmehr erfolgt sie auch, wenn letztere nur neben der Hafenmündung vorüberlaufen.

Von wesentlichem Nutzen ist die Verengung der Mündung und die Verbreitung des Hafens. Je geringer die Weite der ersteren vergleichungsweise gegen die des letzteren ist, um so mehr vermindert sich die Höhe der Wellen. In § 2 wurde die lebendige Kraft einer Welle von der Breite $= 1$ bei grofser Tiefe gleich

$$c^2 \varrho^2 \pi$$

gefunden, wo c die Geschwindigkeit der Welle und ϱ den Radius der Bahnen bedeutet, welche die in der Oberfläche befindlichen Wassertheilchen durchlaufen. Ist dabei b die Breite der Mündung, so ist die lebendige Kraft der in den Hafen eintretenden Welle

$$bc^2 \varrho^2 \pi$$

und wenn B der Länge des Wellenscheitels im Hafen bezeichnet, so vermindert sich die lebendige Kraft jeder Einheit der Breite auf

$$\frac{b}{B} c^2 \varrho^2 \pi = c^2 \varrho'^2 \pi$$

indem man annimmt, dafs die Geschwindigkeit der Wellen sich, nicht verändert, und man den Radius der Bahnen, welche die Wassertheilchen der Oberfläche im Hafen durchlaufen mit ϱ' bezeichnet. Hieraus folgt

$$\varrho' = \varrho \sqrt{\frac{b}{B}}.$$

Aufserdem vermindert sich auch wegen der Reibung am Boden und an den Seitenwänden die Höhe der Welle um so mehr, je weiter diese in den Hafen einläuft, und zwar ist diese Abnahme um so stärker, je weniger Tiefe der Hafen hat.

Th. Stevenson hat aus Beobachtungen in mehreren Häfen einen Ausdruck hergeleitet, der das Verhältnifs der Wellenhöhe an jeder Stelle des Hafens zu derjenigen im offenen Meer angeben soll. Wenn nämlich wieder b die Weite der Mündung, B die Länge des Wellenscheitels im Hafen oder die Breite des letzten und D die Entfernung dieses Scheitels von der Mitte der Mündung bezeichnet, und wenn Alles in Englischen Fufsen ausgedrückt, so findet er

$$\frac{\varrho'}{\varrho} = \sqrt{\frac{b}{B}} - \frac{1}{50}\left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}}\right)\sqrt[4]{D}$$

Bei der geringen Verschiedenheit des Englischen Fufsmafses gegen das Rheinländische würde dieses Gesetz auch für Letzteres gelten, es ist aber zu bedauern, dafs Stevenson die Messungen nicht näher bezeichnet, die ihn zu diesem Resultat geführt haben. In seinem bereits mehrfach erwähnten Werke über Hafenbau (Pag. 146) wird freilich auf eine Mittheilung im Edinburger philosophischen Journal Bezug genommen, doch auch hier giebt Stevenson nur dieselbe Formel an, ohne deren Herleitung zu erläutern, er spricht indessen hier noch seine Ansicht darüber aus, wie das Hafenbassin mit Rücksicht auf Schwächung der Wellen am passendsten anzuordnen sei. *) Man solle demselben nämlich die Form einer Ellipse geben, deren einer Brennpunkt in die Mitte der Mündung, der andre dagegen schon auf das hohe Land hinter dem Hafen fällt, alsdann würden die rücklaufenden Wellen nirgend zusammen treffen. Man darf wohl bezweifeln, ob diese Form vor irgend einer andern, die nicht gerade eine volle Ellipse darstellt, den Vorzug haben möchte.

Die Verengung der Mündung läfst sich nur in Bassin-Häfen anbringen. Wenn aber die beiderseitigen Hafendämme in möglichst geringem Abstande parallel gerichtet sind, so darf sie nicht eingeführt werden, weil dadurch das Einlaufen der Schiffe zu sehr erschwert würde. Im Gegentheil geschieht es zuweilen, dafs man zur Bequemlichkeit der Schiffahrt die Hafendämme an ihrem äufsern Ende divergiren läfst, so dafs sich trichterförmige Oeffnungen bilden, die sich einwärts verengen. Dieses ist

*) The Edinbourg new philosophical Journal. Vol. LIV. pag. 378.

aber in Betreff des Wellenschlages höchst nachtheilig, weil dadurch die einlaufende Welle verstärkt wird.

Eine Anordnung dieser Art mit der trichterförmig nach innen verengten Oeffnung hatte J. Rennie für den Hafen Kingstown in Irland vorgeschlagen. Die Ausführung wurde nach diesem Plan auch im Jahre 1817 begonnen, als jedoch vier Jahre darauf Rennie starb, noch ehe der Bau beendigt war, so kam das Bedenken zur Sprache, ob die beabsichtigte Mündung, die nur 500 Fufs weit sein sollte, für die bei südlichen Winden einlaufenden Schiffe genügen werde. Es tritt hier nämlich der eigenthümliche Fall ein, dafs gerade bei südlichen Stürmen, also wenn das benachbarte Ufer dem Hafen schon Schutz bietet, die vor demselben liegenden Schiffe Gefahr laufen, durch die verschiedenen, zum Theil sehr heftigen Strömungen auf die Untiefen vor der Mündung des Liffey geworfen zu werden. Es war daher nöthig die Mündung so zu legen und zu erweitern, dafs die Schiffe, wenn sie auch gezwungen sind, hart am Winde zu segeln, doch sicher einkommen können. Man wich deshalb von dem ursprünglichen Project ab, welches sich in dem Zurücktreten des östlichen Hafenkopfes noch erkennen läfst, wie die Situation des Hafens Fig. 102 zeigt. Die Mündung hat die Weite von 700 Fufs Engl. erhalten.

John Rennie der jüngere tadelt in seinem Werk über Hafenbau diese Aenderung und sagt, die in Kingstown liegenden Schiffe seien bei östlichen Winden einer augenscheinlichen Gefahr ausgesetzt. Die auf Veranlassung des Unterhauses im Jahre 1846 angestellten Untersuchungen bestätigten allerdings, dafs wiederholentlich in diesem Hafen Schiffe vor den Ankern getrieben, und theils beschädigt, theils auch zerschlagen wären. Nach der Aussage des Hafenmeisters traf jedoch ein solcher Unfall niemals gröfsere Schiffe, die mit Ankern und Ketten gehörig versehn waren, und nur kleinere Fahrzeuge mit unvollständiger Ausrüstung kamen ins Treiben und mufsten mit schwereren Ankern und stärkern Ketten versehn werden. Aufserdem besagte derselbe, dafs der Hafen zuweilen überfüllt gewesen und sonach die zuletzt einkommenden Schiffe nicht den nöthigen Raum fanden, um das Ankertau hinreichend auslaufen zu lassen.

Auch in den vom Parlament veranlafsten spätern Vernehmungen über Schutzhäfen wurde im Jahr 1857 von Sach-

verständigen erklärt, Kingstown sei der gelungenste und ein ganz sicherer Hafen. Hiernach darf man wohl annehmen, dafs Rennie's Urtheil nicht begründet ist, und dafs dieser Hafen dem Bedürfnifs wirklich entspricht, also auch die nöthige Schwächung der Wellen darin erfolgt. Nichts desto weniger hatte Rendel im Jahr 1855 den Vorschlag gemacht, die Mündung bis auf 450 zu verengen, und zu diesem Zweck vom westlichen Hafenkopf aus einen Flügel in süd-süd-östlicher Richtung vorzubauen.

Die in der Figur angegebenen Tiefenlinien beziehn sich auf Niedrigwasser bei Springfluthen. Es ergiebt sich daraus, dafs in einem grofsen Theil des Hafens dauernd ein Wasserstand von 24 Fufs bleibt. Der Fluthwechsel beträgt bei Springfluthen 14 Fufs und bei todten Fluthen 8 Fufs. Es dürfte angemessen sein, zur Erklärung der Figur sogleich einige weitere Mittheilungen über diesen Hafen zu machen.

Die Hafendämme sind massiv, und darauf befinden sich breite gepflasterte Wege, welche seeseitig von hohen Brust- oder Schutzmauern begrenzt werden. Auf der Hafenseite steigen die Dämme mit einhalbfacher Anlage an, so dafs Schiffe neben ihnen liegen können. Auf dem Kopf des östlichen Dammes bei *A* steht ein Leuchtthurm. An den mit *B* bezeichneten Stellen befinden sich Treppen zum Einsteigen in Böte. Sie sind in Nischen der Mauern angebracht, treten also nicht vor diese vor. *C* ist das Kai, an welches die Dampfböte anlegen, die namentlich mit Liverpool und Holyhead mehrmals an jedem Tage die Verbindung unterhalten. Dicht daneben befindet sich die Station der Eisenbahn, die nach Dublin führt. *D* ist ein Hafen für Böte, *E* das Kai für Handelsschiffe, und *F* der alte Hafendamm, der den kleinen Hafen von Dunleary nothdürftig schützte, der in früherer Zeit hier allein existirte, und jetzt durch die Eisenbahn durchschnitten wird. Das Städtchen Kingstown entstand erst mit dem neuen Hafen. Der bedeutendste Mangel bezieht sich hier auf ein hinreichend ausgedehntes Kai oder Werft, an welches tiefgehende Schiffe anlegen können. Ein solches ist augenscheinlich nur an der östlichen Seite zu erbauen, weil hier allein die nöthige Tiefe vorhanden ist. Vorschläge dazu sind mehrfach und unter andern auch von Rendel gemacht.

Demnächst läfst sich der Wellenschlag in einem Hafen auch

dadurch schwächen, dafs man einen isolirten Damm vor die Mündung legt. Dieses Mittel ist indessen nicht nur sehr kostbar, sondern man kann dabei auch leicht Veranlassung zu höchst gefährlichen Versandungen geben, während andrerseits dadurch die sehr wünschenswerthe Gelegenheit geboten wird, dafs die Schiffe nach der jedesmaligen Richtung des Windes beim Ein- und Aussegeln den einen oder den andern Weg wählen können, was unbedingt von grofsem Nutzen ist. Aufserdem wird hierdurch auch der von diesem Damm umschlossene Theil des Meers geschützt, oder es wird vor dem Hafen eine Rhede gewonnen, auf der die Schiffe sicher ankern können. In der letzten Beziehung betreffen die Anlagen dieser Art nicht sowohl den eigentlichen Hafen, als die Rhede, und es empfiehlt sich daher, bei Gelegenheit der letzteren diese isolirten Werke, die man Wellenbrecher nennt, zu behandeln.

Am heftigsten pflegt der Wellenschlag immer in langgestreckten Häfen zu sein, die sich im Innern gar nicht oder nur wenig erweitern. Bis auf hundert Ruthen Länge setzt sich in ihnen die Bewegung fort, und selbst Krümmungen, die man darin anbringt, oder die der natürliche Flufslauf schon hatte, sind von wenig Nutzen, wenn die nöthigen Abrundungen der Ufer statt finden, welche die Schiffahrt fordert.

Sehr wichtig sind in dieser Beziehung die Erfahrungen, die man in dem Hafen la Ciotat machte, der nahe in der Mitte zwischen Marseille und Toulon liegt. Derselbe ist in sofern von grofser Bedeutung, als hier die Werfte für die Postdampfschiffe befindlich sind, und sowol die Herbeischaffung des Materials, als die Unterhaltung der zahlreichen Arbeiter einen lebhaften Verkehr hervorgerufen hat, der durch die Dampfschiffe noch vermehrt wird, die hier erbaut oder reparirt werden. Vor dem Werft befinden sich mehrere tief unter Wasser greifende Hellinge, deren Unterhaltung in sofern überaus kostbar ist, als der Bohrwurm (§ 12) in kurzer Zeit das Holz zerstört, und sie mindestens nach zwei Jahren immer erneut werden müssen. Diese Thiere bilden sich hier zu einer ungewöhnlichen Grösse aus, sie sollen bis 2 Meter lang und einen Daumen stark werden.

In der felsigen Küste, die im Allgemeinen von Westen nach Osten streicht, bildet sich eine Bucht, Baie de la Ciotat, die etwa

1 Deutsche Meile lang und $^1/_2$ Meile breit ist. Dieselbe ist grofsentheils 60 und im vordern Theile sogar über 100 Fufs tief. Auf der westlichen Seite wird sie durch das Vorgebirge Bec de l'Aigle begrenzt, vor dem in geringer Entfernung noch die Felseninsel Ile Verte liegt. Etwa $^1/_4$ Meile im Norden von dem benannten Vorgebirge befindet sich der Hafen und das Städtchen la Ciotat. Fig. 103 zeigt die Situation des erstern. Er wurde ursprünglich auf der Nordseite nur von den natürlichen Felsen, worauf das Fort Bérouart *A* erbaut ist, begrenzt, während der Hafendamm *B* die Schiffe vor südöstlichen Stürmen sicherte. Der nutzbare Raum hatte indessen zu geringe Ausdehnung, da nordwärts von der punktirten Linie der Hafen noch gegenwärtig nur sehr geringe Tiefe hat und die Felsen hier zum Theil sogar über Wasser treten. Es wurde demnach ein zweiter Hafendamm *D* aufgeführt, den man etwas über die Richtungslinie des Ufers hinaustreten liefs, um das Einlaufen der Wellen bei starken südlichen Winden zu verhindern. Was die hierdurch erreichte Vergröfserung des Hafens betrifft, so wurde dadurch für den öffentlichen Verkehr nichts gewonnen, indem der ganze Raum zwischen beiden Dämmen *B* und *D* von den Staats-Werften benutzt wird, deren Werkstätte und Magazine sich bei *C* befinden.

Obwohl durch diesen Neubau bei südlichen Stürmen die Wellen vom Hafen abgehalten wurden, so fand dieses doch nicht bei östlichen Winden statt. Die Bucht von Ciotat hat freilich, wie erwähnt, keine bedeutende Ausdehnung in östlicher Richtung, aber gerade diese Winde treten im Mittelländischen Meere mit besonderer Heftigkeit auf, und die weite Mündung *AD* mufste daher zum Theil geschlossen und gedeckt werden. Dieses geschah, indem man nunmehr den Hafendamm *AE* ausführte, der zugleich einige Felsen überdeckte, die bisher den einlaufenden Schiffen gefährlich gewesen waren.

In solcher Weise hatte man freilich den Hafen gegen die östlichen Winde geschützt, aber nunmehr liefen wieder bei südlichen Winden die Wellen sehr stark ein. Während diese früher theils auf den Klippen gebrochen und theils vor dem Hafen vorbeigegangen waren, so fing gegenwärtig der Kopf *E* sie auf und sie setzten sich mit ungeschwächter Kraft in der regelmäfsigen Concave *EA* fort, verfolgten alsdann noch eine Strecke weit das

nördliche Ufer, hier trafen sie aber auf ein Felsenriff, das sie von neuem ablenkte und sie gegen das westliche Ufer trieb, wo sie gerade an der Stelle, wo die Handelsschiffe allein liegen konnten, eine so heftige Bewegung veranlafsten, dafs hier vielfach bedeutende Havarien vorkamen. Die daselbst anlaufenden Wellen bewegten sich nicht nur westlich, sondern sogar südwestlich, ihre Richtung, die vor dem Hafen nördlich war, hatte sich also um mehr als einen Quadranten geändert.

Minard erwähnt*) zweier Vorschläge, die zur Abstellung dieses Uebelstandes gemacht wurden, nämlich es solle entweder dem Damm *B* gegenüber vom nördlichen Ufer aus noch ein andrer Damm in den Hafen geführt, oder die Mündung *ED* durch schwimmende Wellenbrecher geschützt werden. Der erste Vorschlag ist nicht zur Ausführung gekommen, wohl aber hat man, nachdem der zweite versucht und ganz unbrauchbar befunden war, an den südlichen Hafenkopf *D* noch den gekrümmten Flügel *DF* angebaut, der das Einlaufen der Wellen bei südlichen Winden verhindert, also dem Hafen die nöthige Sicherheit giebt. Die Mündung ist nunmehr 287 Fufs breit. Die Tiefe darin mifst $18\frac{1}{2}$ Fufs, im Hafen selbst dagegen nur $14\frac{1}{2}$ Fufs. Die Einfahrt wird durch zwei rothe Feuer auf beiden Köpfen *E* und *F* bezeichnet. Ein höherer Thurm, der früher als Küstenfeuer diente, steht im Norden des Punktes *A*, man benutzt denselben aber nicht mehr, weil es vorgekommen ist, dafs ein Schiff zwischen diesem und dem Feuer *E* die Mündung suchte und dabei strandete. Als ich im Jahre 1857 dort war, hatte man angefangen, die Klippen im Hafen zu sprengen und die dazwischen liegenden Kiesmassen durch Baggern zu entfernen.

Der Versuch mit schwimmenden Wellenbrechern gehört auch hierher, doch wird davon passender bei Gelegenheit der Hafendämme die Rede sein, weil solche frei in die See gelegt werden.

Zuweilen entsteht im Innern der Häfen ein starker Wellenschlag, wenn die Richtung, in welcher die Wellen von der See aus anlaufen, auch keineswegs der Mündung zugekehrt ist, sie

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer, par M. Minard. Paris 1846. pag. 23.

vielmehr an dieser nur vorübergehn. Minard erwähnt, dafs diese Erscheinung in vielen Französischen Häfen sich sehr auffallend zeigt, dieselbe darf aber nicht befremden, denn wenn die Wellen auch vor der Mündung des Hafens vorbeistreichen, ohne ihn zu treffen, so mufs dennoch, so oft ein oberer Scheitel der Welle vorübergeht, eine grofse Wassermasse in den Hafen hineinstürzen, und sie wird wieder mit gleicher Heftigkeit ausfliefsen, wenn ein unterer Wellen-Scheitel davor tritt. Berücksichtigt man dabei noch, dafs der Druck von der einen oder der andern Seite sich jedesmal bis auf den Grund fortsetzt, so sind in solchem Fall die Verhältnisse sehr genau dieselben, wie in der Wellenrinne, in welcher ich durch Hin- und Herstofsen der Scheibe die Wellenbewegung veranlafste (§ 3). Es ist jedoch sehr zu bezweifeln, ob in irgend einem der Fälle, welche Minard anführt, die Wellen wirklich parallel zur Küste sich bewegten, so dafs ihre Kämme normal gegen die letztere gerichtet waren. Jedenfalls wäre dieses nur möglich, wenn die Küste aus sehr grofser Tiefe sich steil erhebt, und selbst alsdann möchte derjenige Theil der Welle, der sich neben dieser befindet, doch einige Verzögerung erleiden, wodurch die Richtung der Bewegung geändert wird. Vor Ufern, die eine flache Dossirung unter Wasser haben, oder wo ausgedehnte Untiefen davor liegen, werden jedesmal, wie schon früher (§ 1) erwähnt, die Wellen sowol in der Richtung ihres Kammes, als in der ihrer Bewegung, in der auffallendsten Weise verändert. Mit Rücksicht auf diese Erscheinung, die ohne Zweifel bei der Mehrzahl der von Minard angeführten Beispiele eintritt, insofern dieselben sich meist auf flache Ufer beziehn, die bei der Ebbe auf grofse Breiten trocken werden, braucht man auf jene Erklärung über die seitliche Fortsetzung der Wellen nicht zurückzugehn. Die Wellen werden vielmehr nahe in derselben Weise in den Hafen eintreten, als wenn der Wind der Mündung zugekehrt wäre. Es ergiebt sich aber, dafs auch in diesem Fall Einbaue oder Steindämme, die man auf der Windseite vor der Mündung des Hafens ausführt, den nächsten Theil des Wellenkammes abhalten und dadurch die Bewegung im Hafen schwächen. Ihre Wirkung ist aber jedesmal um so gröfser, je länger sie sind.

Mit den von Minard erwähnten Erscheinungen steht der

Wellenschlag in naher Beziehung, den man in neuerer Zeit in dem Hafen von Pillau bemerkt. Die Mündung dieses Hafens befindet sich in dem nördlichen Ufer des sogenannten Tiefs, oder der Verbindung des frischen Haffs mit der Ostsee. Es tritt jedoch kein Hafendamm vor das Ufer vor, vielmehr bleibt die Mündung hinter demselben noch zurück. Bei westlichen Stürmen setzten die Wellen aus der See sich zwar immer bis in das Tief fort, doch verloren sie beim Uebergang über die Untiefen so sehr an Kraft, dafs sie den Hafen nicht beunruhigten. Bei starken südlichen Winden traten jedoch in früherer Zeit die Wellen aus dem Elbinger Haff in ihn ein, und belästigten so sehr die darin liegenden Schiffe, dafs im Jahre 1829 von der östlichen Seite ein Flügel herausgebaut wurde, der die Mündung bis auf das äufserste zulässige Maafs beengte. Die Klagen über Wellenschlag im Hafen hörten damals vollständig auf, bis im Frühjahre 1854 bei der ungewöhnlich starken Entwässerung des Frischen Haffs, das durch die Nogat die ganze Weichsel aufnahm, ein sehr tiefes Fahrwasser sich vor Pillau bildete. In früherer Zeit hatte man selten 12 Fufs im Seegatt gehabt, damals vertiefte sich dasselbe auf 25 Fufs. Eine Folge davon war die verstärkte Wellenbewegung im Hafen bei westlichen Stürmen. Die Wellen aus der See setzten sich nämlich in grösserer Höhe als früher durch das Tief bis vor Pillau und vor die Mündung des Hafens fort. Obwohl sie in letztern nicht unmittelbar einlaufen konnten, da derselbe gegen die Richtung ihrer Bewegung nahe rechtwinklig gekehrt war, so veranlafste dennoch das starke Schwanken des Wassers vor der Mündung auch im Hafen eine heftige Wellenbewegung.

In manchen Häfen giebt es einzelne Stellen, wo sehr starke Wellen sich zeigen, ohne dafs gleich hohe Wellen von der Mündung aus sich hieher bewegen. Dieses sind sehr kurze Wellen, die aufserdem noch die Eigenthümlichkeit haben, dafs sie sich nicht seitwärts bewegen, vielmehr ohne ihre Stelle zu verändern, sich nur abwechselnd heben und senken. Ohne Zweifel hängt diese Erscheinung mit derjenigen zusammen, die Weber in elliptischen Gefäfsen beobachtete, die mit Quecksilber gefüllt waren. Wenn in den einen Brennpunkt ein Tröpfchen herabfiel, so liefen die zurückgeworfenen Wellen wieder dem zweiten Brenn-

punkt zu, und indem sie sich hier vereinigten, so schwollen sie zu einer viel gröſsern Höhe an (§ 1). Hat der Hafen ungefähr die Form einer Parabel, so werden die in denselben einlaufenden Wellen im Brennpunkt sich vereinigen und hier eine groſse Höhe erreichen.

Um die Wellenbewegung vollständig aufzuheben, hat man in England mehrfach einzelne kleinere Bassins in ihren Mündungen mit Seitenmauern und diese mit Dammfalzen versehn, worin zur Zeit eines heftigen Sturms Dammbalken eingelegt werden, von denen der untere auf einer Schwelle ruht, und die bis über das Wasser reichen. In Hartlepool, Seaham und andern Häfen kommen sie vor, und in Bauff schlieſsen sie sogar eine Oeffnung von 43 Fuſs. Zum Einlegen und Ausheben der Balken wird zuweilen Dampfkraft benutzt, doch ist dieses immer mit solchem Zeitaufwand verbunden, daſs bei starkem Verkehr von dieser Vorrichtung kein Gebrauch gemacht werden kann.

Um die Wellen in einem gröſsern Hafen zu mäſsigen, hat man zuweilen eine eigenthümliche Vorkehrung angewendet, wie namentlich in einigen Französischen Häfen am Canal. Die Erfindung rührt von dem ältern Lamblardie her, und besteht darin, daſs an geeigneten Stellen die Hafen-Einfassung durch ein Pfahlwerk gebildet wird, wozwischen freie Oeffnungen gelassen sind, durch welche die Wellen hindurchtreten können. Dieselben gelangen auf diesem Wege in Seitenbassins, von groſser Ausdehnung, deren Boden aber mit flacher Böschung über Wasser ansteigt. Die einlaufende Welle trifft dieses durchsichtige Pfahlwerk (claire-voie), und an jedem einzelnen Pfahl findet sie einen gewissen Widerstand, der eine kleine rücklaufende Welle erzeugt. Auſserdem tritt eine starke Welle in das Bassin ein und verfolgt dasselbe bis an sein Ende. Auf dem ansteigenden Grunde schwächt sie sich aufs Neue, doch bildet sie gleichfalls eine rücklaufende Welle, die ihren Weg bis in den Hafen fortsetzt. Die verschiedenen Verluste der lebendigen Kraft, so wie auch die rücklaufenden Wellen, die ganz zufällig die folgenden treffen, schwächen diese, besonders wenn das durchsichtige Pfahlwerk an der concaven Seite einer starken Krümmung angebracht ist.

In der gröſsten Ausdehnung findet man diese durchsichtigen Wände in dem Hafen von Dieppe, dessen Situation Fig. 106

zeigt. Zur Zeit der Springfluthen beträgt hier der Fluthwechsel 28 Fufs, das Niedrigwasser fällt alsdann so tief, dafs der Vorhafen grofsentheils trocken ist, und die Mündung sogar durch eine über Wasser liegende Bank ganz gesperrt wird. Die punktirten Linien zeigen die Grenzen des Niedrigwassers zur Zeit der Springfluthen.

Von den Spülvorrichtungen, welche die Figur zeigt, wird später die Rede sein, hier handelt es sich nur um den Wellenschlag, der um so gefährlicher ist, als die einkommenden Schiffe, während sie der vollen Wirkung desselben ausgesetzt sind, die scharfe Wendung um die vortretende Ecke *D* machen müssen. Diese unregelmäfsige Gestalt hat der Vorhafen dadurch erhalten, dafs er seit dem Jahre 1600 nach den jedesmaligen localen Verhältnissen, also keineswegs nach einem vorher bestimmten Plan, um 133 Ruthen verlängert ist. Seine Mündung war früher nahe vor der jetzigen Spülschleuse. Schon im vorigen Jahrhundert wurde die durchsichtige Pfahlwand *C* ausgeführt. Dieselbe beseitigte indessen keineswegs die Uebelstände, vergröfserte sie vielmehr noch wesentlich, weil die eintretende Welle an dieser sehr engen Stelle, deren Breite nur 13 Ruthen mifst, plötzlich seitwärts abläuft, und das Schiff in einer schmalen Rinne zurückläfst, wo es bei den verschiedenartigen Bewegungen des Wassers gemeinhin die Steurung verliert. In den Jahren 1838 und 1839 wurde die wesentliche Verbesserung eingeführt, dafs man die Ecke *D* abgrub, sie aber dennoch in ihrer früheren Form mit durchsichtigen Pfahlwänden umgab, um die Wellen nicht mit noch gröfserer Gewalt in den hintern Theil des Vorhafens eintreten zu lassen. Gleichzeitig wurde auch der rechtseitige oder östliche Hafendamm aufs Neue verlängert und die durchsichtige Pfahlwand *B* nebst zugehörigem Bassin in demselben erbaut.

Wenn hierdurch die Wellenbewegung im innern Hafen sich auch etwas verminderte, so trat dennoch dicht neben der Mündung wieder dieselbe Gefahr für die Schiffe ein, wie früher neben der Ecke *D*, weil auch hier die Wellen nur nach einer Seite sich ausbreiten konnten. Dieses war aber um so bedenklicher, als die Schiffe in dem Augenblick, wo sie in den Hafen einliefen, und vielleicht noch von der Küstenströmung getroffen und durch diese gedreht wurden, die sichre Steurung verloren.

Aus diesem Grunde wurde 1857 noch neben dem Leuchtthurme *E* eine vierte durchsichtige Wand bei *A* eingerichtet.

Die Construction dieser letzten Wand, die in den wesentlichsten Theilen mit den ältern durchsichtigen Wänden übereinstimmte, zeigt Fig. 107, *a* und *b*. Eine Bétonschüttung, die bis zum Niedrigwasser der Springfluthen ansteigt, wurde zwischen Spundwänden dargestellt. Der Untergrund, der etwa 12 Fufs hoch mit Kies überdeckt war, bestand aus Kreide, in welche die Pfähle zwar etwas eindrangen, jedoch keineswegs fest darin standen. Hierauf ist ein 12 Fufs hohes Mauerwerk aufgeführt, welches die durchsichtige Wand trägt. Letztere besteht aus einzelnen Bindern, die in 12 Fufs Abstand von einander aufgestellt sind. Die Anordnung derselben ergiebt sich aus Fig. 107, *a*. Sie werden, ehe man sie richtet, in sich vollständig verbunden, woher ihre Aufstellung oder Erneuung in kurzer Zeit erfolgen kann. Zu ihrer Befestigung dienen zunächst die beiden rückwärts strebenden doppelten Zangen, die besonders beim Gegenstofsen der Schiffe in Anspruch genommen werden. Sie sind an die beiden Stiele des Binders und aufserdem an zwei Pfähle gebolzt, die hinter dem Mauerwerk durch den Kies bis zur Kreide gerammt sind. Unter sich sind die Binder zunächst durch einen über ihre Schwellen, und zwar vor die vorderen Stiele, gelegten Längenbalken verbunden, der mit Spitzbolzen an die Schwellen befestigt ist. Aufserdem sind in die obern Rahme drei Brückenbalken verkämmt. Eine Verstrebung nach der Länge fehlt und ist auch nicht erforderlich, weil die durchsichtige Wand an beiden Enden sich gegen Mauern von derselben Höhe lehnt. Ueber den Brückenbalken liegen Bohlen, und da diese zuweilen von den Wellen erreicht werden, so sind sie mit weiten Fugen verlegt, und werden durch zwei andre Balken an den Seiten gehalten, die mit den darunter befindlichen durch Schraubenbolzen verbunden sind. Die Kanten des an der Hafenseite befindlichen Balken sind abgerundet, weil auf ihm beim Ein- und Ausholen der Schiffe die Taue liegen. Gegenüber befindet sich ein hölzernes Geländer.

Die Binder stehn soweit auseinander, dafs sie die hindurchlaufenden Wellen noch nicht hinreichend schwächen. In die Zwischenräume sind daher jedesmal noch zwei starke Hölzer gestellt, wie Fig. 107, *b* zeigt. Letztere lehnen sich sowol oben,

als unten, gegen die bereits erwähnten Balken und sind mit beiden verbolzt.

Die Bassins hinter den durchsichtigen Holzwänden haben verschiedne Breiten. Die Zeichnung stellt ein solches von 100 Fufs Breite dar, dessen Sohle rückwärts 12 Fufs ansteigt, so dafs sie neben der hintern Mauer nur 3 Fufs unter dem Hochwasser der Springfluthen bleibt, oder die Höhe der gewöhnlichen Fluthen erreicht. Diesem Höhen- und Breiten-Verhältnifs schliessen sich auch die andern dortigen Anlagen an. Die geneigte Fläche, auf welche die Wellen auflaufen, ist mit einem Pflaster aus roh bearbeiteten Steinen bedeckt, das auf eine Unterlage von grobem Kies möglichst dicht schliefsend versetzt und fest abgerammt ist.

Aehnliche Anlagen hat man auch in England unter dem Namen Wellenschirme (wave screens) und zwar mit manchen Modificationen wiederholentlich vorgeschlagen, obwohl von der Ausführung solcher nichts bekannt geworden ist. Hier mag nur erwähnt werden, dafs Scott jenen Balkenrost nicht vertical, sondern etwa 45 Grade geneigt aufstellen will, damit die Welle theils aufläuft und theils hindurchdringt, und in beiden Fällen die regelmäfsig schwingende Bewegung unterbrochen wird. Die in Frankreich übliche Anbringung der flachen Rampe in dem Seitenbassin fehlt aber hier.

Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs man zuweilen auch durch Eröffnung gewisser Seitenverbindungen mit dem Meer die eintretenden Wellen zu schwächen versucht hat. Im Hafen West-Hartepool brachte Ward zu diesem Zweck Erweiterungen zur Seite an, die in Canälen endigten, und durch diese in einiger Entfernung mit der See in Verbindung standen. Thom. Stevenson rühmt diese Anordnung und sagt zugleich, dafs auch im Hafen Mullaghmore in der Grafschaft Sligo durch Darstellung einer Oeffnung in der Hafenwand die Bewegung merklich geschwächt sei. Man wird indessen hiervon wohl nur Gebrauch machen dürfen, wenn das Eintreiben von Sand und Kies durch diese Oeffnungen nicht zu besorgen ist.

§ 34.

Die Rhede.

Es ergiebt sich aus den bisherigen Mittheilungen, dafs die Häfen nicht immer für alle Schiffe zugänglich sind, dafs vielmehr entweder ein passender Wind, oder ein hinreichender Wasserstand oder auch der Anbruch des Tages abgewartet werden mufs, ehe das Schiff einkommen kann. Vielfach ereignet es sich auch, dafs die Tiefe in der Hafenmündung für beladene grofse Schiffe nicht genügt und diese daher zuvor durch Lichterfahrzeuge soweit entladen werden müssen, dafs sie die Barren vor den Häfen passiren können. In allen diesen Fällen ist ein Ankerplatz vor dem Hafen nothwendig, den man die Rhede nennt. Von demselben wird aber noch vielfach in andrer Art Gebrauch gemacht. So geschieht es nicht selten, dafs der Führer des Schiffs angewiesen wird, Häfen anzulaufen, in welchen die Frachten noch nicht bestimmt abgeschlossen sind, wo also die Einnahme von Gütern nicht sicher erwartet werden kann. In diesem Fall würde es sich nicht rechtfertigen, das Schiff vielleicht vergeblich ein- und bald darauf wieder hinauszubringen, was mit Zeitverlust und mancherlei Kosten verbunden wäre. Bei günstiger Witterung bleibt daher das Schiff auf der Rhede, und der Capitän fährt im Boot nach dem Hafen, um die nöthigen Erkundigungen einzuziehn. Endlich dient die Rhede auch zum Sammelplatz der Schiffe, wenn mehrere derselben, oder eine ganze Flotte gemeinschaftlich ausgehn soll. Diese Rücksicht ist vorzugsweise bei einem Kriegshafen von überwiegender Wichtigkeit, aber auch Handelsschiffe, die zu Kriegs-Zeiten unter dem Schutz einer Fregatte fahren, um gegen feindliche Kaper-Schiffe gesichert zu sein, müssen vor dem Auslaufen sich sammeln, und dieses kann nicht im Hafen selbst geschehn, weil das Ausbringen der einzelnen Fahrzeuge zu zeitraubend wäre.

Aus allen diesen Gründen ist die Rhede ein nothwendiges Erfordernifs für Häfen, doch kann die Kunst zur Darstellung einer solchen nur selten beitragen, weil die betreffenden Anlagen übermäfsig kostbar sind. Es giebt wohl kein Beispiel, dafs man eine ganz neue Rhede künstlich geschaffen hätte, und nur in

wenigen Fällen hat man eine solche, die schon durch die Natur gebildet war, durch bauliche Anlagen verbessert.

Das dringendste Erfordernifs ist ein guter Ankergrund, in den der Anker leicht eingreift und dennoch den nöthigen Widerstand findet. Ein nicht gar zu strenger Thonboden ist hierzu am meisten geeignet, weil derselbe bei starkem und anhaltendem Wellenschlag sich weniger auflockert, als reiner Sand. Der letzte bietet indessen gleichfalls dem Anker einen festen Halt, wenn die Wassertiefe hinreichend grofs ist, so dafs die Wirkung der Wellen auf denselben sich schon mäfsigt, oder beinahe ganz aufhört. Wenn jedoch gröfsere Tiefen unmittelbar davor liegen, so ist die Abstillung weniger zu erwarten, und der Boden wird daselbst leichter aufgelockert. Im Schlamm haften die Anker wenig, und schon bei mäfsigem Winde und Wellenschlag kommen die davor liegenden Schiffe ins Treiben. Auf Felsen, deren Oberfläche ziemlich eben ist, greift der Anker gar nicht ein, und dieses geschieht auch nicht auf sehr grobem Kies, während auf klüftigem Gestein derselbe wohl fafst, aber leicht nicht wieder gehoben werden kann. Der Felsboden ist aufserdem noch insofern gefährlich, als das Ankertau darauf leicht durchschnitten wird. Um dieses zu verhindern, ist man zuweilen gezwungen, noch Schwimmer daran zu befestigen, die das Tau, soweit seine Spannung dieses gestattet, etwas von dem Boden aufheben und es darüber schwebend erhalten.

Ein andres Erfordernifs des Grundes ist, dafs derselbe rein ist, und nicht etwa Gegenstände daraus hervorragen, welche das Tau oder die Kette fassen, während das Schiff bei einer Aenderung des Windes oder des Stroms eine andre Lage gegen den Anker annimmt. Sollte dieses geschehn, so würde das Schiff sich nicht mehr gegen den Anker, sondern gegen diesen Gegenstand stellen, es würde ein Scheuern des Taues eintreten, letzteres müfste in seinem freien Theil sich auch verkürzen, und bei weiterer Aenderung der Lage des Schiffs würde das Tau oder die Kette vollends den fremden Gegenstand umschlingen, und es wäre unmöglich, den Anker später wieder zu heben. Bei Gelegenheit der Beseitigung verschiedner Schiffahrtshindernisse von dem Boden der Strombetten (im II. Theil dieses Handbuches § 51) ist bereits erwähnt worden, dafs die Rhede vor Pillau früher durch eine Menge

Schiffsanker sehr gefährdet war, dafs diese aber nach und nach vollständig fortgeschafft wurden. Die dabei angewendeten Verfahrungsarten sind oben ausführlich beschrieben. Viel schwieriger sind Schiffswracke zu beseitigen, die oft noch nachtheiliger werden, als einzelne Anker.

Was die Wassertiefe betrifft, über der Schiffe vor Anker gehn, so hängt dieselbe vorzugsweise von der Witterung ab. Bei schwachem Winde und mäfsigem Wellenschlage und wenn das Schiff voraussichtlich nur kurze Zeit auf der Rhede bleibt, so nähert es sich so weit dem Strande, dafs es nur etwa 1 Faden Tiefe unter dem Kiel behält. Sollte jedoch ein Sturm ausbrechen, wobei die Wellen solchen hohen Grund stark angreifen und auflockern, so würde der Anker bald lose werden und das Schiff ins Treiben kommen. Insofern die Wellen aber jedesmal nach dem Ufer sich bewegen und in ihrer Richtung auch das Schiff stofsen, so befände sich dasselbe alsdann in sehr gefährlicher Lage und man müfste suchen, es schleunigst unter Segel zu bringen. Weht aber, wie bei heftigem Wellenschlage fast immer geschieht, der Wind von der Seeseite, so ist es oft wegen des unvermeidlichen anfänglichen Treibens oder auch wegen der Höhe der Wellen nicht möglich, hart an dem Wind aufzukommen, und die Strandung ist alsdann unvermeidlich. Hiernach ist es räthlich, das Schiff, selbst bei günstiger Witterung, auf tieferem Wasser vor Anker zu bringen. Vor Pillau pflegt dieses auf 5 bis 6 Faden zu geschehn. Für grofse Schiffe genügt jedoch diese Tiefe noch nicht. Wenn die Schiffe aber mit Tauen oder Ketten hinreichend versehn sind, so ankern sie zuweilen noch in der Tiefe von 40 Faden.

Es wurde schon oben (§ 31) darauf hingewiesen, dafs der Anker nur fafst, wenn das Tau oder die Kette hinreichende Länge hat, damit eines Theils der Zug nicht etwa aufwärts, sondern nahe horizontal ausgeübt wird, andrer Seits gewinnt aber das Tau in Folge der gröfsern Länge auch mehr Elasticität, so dafs beim Anlaufen der Welle an das Schiff diesem die Gelegenheit geboten wird, etwas zurückzuweichen, bevor das Tau vollständig gespannt ist. Die Ankerketten wirken dagegen in gleicher Weise durch ihr gröfseres Gewicht. Sie legen sich auf den Grund auf, sobald die Spannung etwas nachläfst, und wenn das Schiff

wieder zurückgestofsen wird, so erheben sie sich und ziehn sich gerade aus. Sieht man ein Schiff vom Ufer aus vor Anker liegen, so bemerkt man mittelst eines fest aufgestellten Fernrohrs sehr deutlich, dafs es keineswegs immer an derselben Stelle bleibt. Schon bei mäfsigem Wellenschlage pflegt es in derselben Periode, in welcher die Wellen einander folgen, fortwährend um 1 bis 2 Fufs vor- und zurückzugehn. Bei heftigen Stürmen dehnt sich aber auf der Pillauer Rhede diese Bewegung bis auf 6 Fufs aus.

Durch dieses Nachgeben des Taues oder der Kette wird das Liegen auf der Rhede aufserordentlich erleichtert, indem dadurch die heftigsten Stöfse vermieden werden. Wenn bei sehr unregelmäfsigem Seegange zwei besonders hohe Wellen einander in so kurzer Zwischenzeit folgen, dafs die zweite das Schiff in demselben Augenblicke schon trifft, wo die erste das Tau vollständig ausgezogen hat, so ist der Bruch des letzteren zu besorgen. Ein solches Zusammentreffen ist indessen glücklicher Weise sehr selten. Gewöhnlich geschieht es, dafs das Schiff den Stofs empfängt, während es in Folge der früheren scharfen Anspannung des Taues oder durch das Gewicht der schwebenden Kette schon nach vorn gezogen wird, und sich in dieser Richtung bewegt. Der neue Stofs wird also durch das Trägheits-Moment des Schiffs aufgehoben, dessen Bewegung nicht nur unterbrochen, sondern sogar in die entgegengesetzte verwandelt werden mufs, bevor die neue scharfe Spannung des Taues erfolgt. Die letztere darf demnach nur noch die Bewegung des Schiffs aufheben, die demselben durch diesen Stofs mitgetheilt wurde.

Das Ankertau oder Kabel wird gemeinhin in der Länge von 120 bis 150 Faden oder von 60 bis 75 Ruthen gesponnen, was in den meisten Fällen auch genügt, wiewohl bei tiefem Wasser zwei Kabel zusammengesplifst werden müssen, um die Anker einem möglichst horizontalen Zuge auszusetzen. Beim Ankern auf der Rhede, wo nach der wechselnden Richtung des Windes die Schiffe hinreichend Raum haben, um sich rings um den Anker drehn zu können, pflegt man Schiffe bis 2 Kabel auseinander zu legen, damit sie weder selbst zusammen stofsen, noch auch die Taue mit den Ankern der andern Schiffe in Berührung kommen. Für Linienschiffe genügt dieses aber noch nicht.

Bei ankernden Schiffen, und namentlich solchen, die bei

heftigem Wellenschlage vor einem Ankertau liegen, tritt noch die Gefahr ein, dafs letzteres in dem Klüsgatt oder auf der Winde, oder wo es sonst befestigt ist, durchscheuert. Man darf es daher nicht unmittelbar mit Holz, und noch weniger mit Eisen in Berührung bringen. Es wird vielmehr an diesen Stellen mit Lappen von Segeltuch umwunden und diese macht man dadurch geschmeidiger, dafs man sie stark mit Talg einreibt. Bei heftiger Bewegung genügt diese Vorsicht aber nur für kurze Zeit und nach wenigen Stunden mufs man die nächsten Stellen des Taues in gleicher Art verkleiden, und alsdann das Tau soweit anholen oder nachlassen, dafs die neue Verkleidung nunmehr mit den festen Stützpunkten in Berührung kommt. Dieselbe Vorsicht wird aber auch bei den Ketten angewendet, weil die Glieder derselben, wenn sie auch selbst nicht leiden, doch die Holztheile, auf denen sie aufliegen, stark angreifen. Dieses fortwährende neue Verkleiden und Verschieben des Taues oder der Kette ist um so mühsamer, als man bei heftigem Wellenschlage nicht wagen darf, die Ankerwinde, die bei starken Stöfsen abbrechen könnte, zur einzigen Stütze zu wählen, man vielmehr die Befestigung des Taues noch dadurch sichert, dafs man dieses oder die Kette, um einen Mast, und im heftigsten Wellenschlage sogar um alle drei Masten schlingt, um möglichst viele Stützpunkte zu gewinnen. Bei jedesmaligem Anholen oder Nachlassen mufs aber für jeden derselben eine neue Verkleidung aufgebracht und die Windung verändert werden.

Von der Erleichterung des Schiffes durch Herablassen der Bramstengen ist bereits früher (§ 31) die Rede gewesen, es ergiebt sich aber hieraus, wie gefährlich und mit welchen Beschwerden verbunden das Ankern bei heftigem Wellenschlage ist. Es gereicht daher einem Hafen zum grofsen Vorzuge, wenn er eine geschützte Rhede hat, die von Stürmen nicht getroffen wird, und wo das Wasser stets ziemlich ruhig bleibt. Dergleichen ganz geschützte Rheden finden sich selten, doch liegt ein grofser Gewinn schon darin, wenn sie vor den herrschenden Winden und den stärksten Stürmen Schutz bieten. So wird die Rhede vor Neufahrwasser bei Danzig für sehr sicher gehalten, weil bei westlichen Stürmen, so wie auch bei nördlichen die Wellen durch die Halbinsel Hela von ihr abgehalten werden. Nur bei

nordöstlichen Winden bietet sie keinen Schutz. Die Rhede von Pillau und ebenso auch die von Memel sind dagegen den westlichen Stürmen, die auf der nördlichen Hemisphäre die heftigsten sind, ganz blofs gestellt.

Wichtig ist die Frage, welchen Raum die Schiffe mindestens brauchen, um auf einer ziemlich geschützten Rhede noch sicher vor Anker zu liegen. Th. Stevenson giebt hierüber eine Zusammenstellung verschiedener Erfahrungen. Kleinere Schiffe liegen vor Tauen von 40 Faden Länge, gröfsere von 100 bis 200 Last vor 60 bis 80 Faden. Auf 1 Acre oder 1,6 Morgen würden hiernach mit Rücksicht auf das Schwingen vor dem Anker durchschnittlich 5,3 Schiffe Platz finden. Nach Minard und nach den bei Cardiff gemachten Erfahrungen darf man für 1 Acre nur 4 Schiffe und nach Calver sogar nur 3 Schiffe rechnen. Jenachdem man daher auf den Acre 5,3 . . . 4 oder 3 Schiffe rechnet, stellt sich der erforderliche Flächenraum für ein Schiff auf 54, 71 und 95 Quadratruthen, doch beziehn sich diese sämmtlichen Angaben nur auf mäfsig grofse Kauffahrtei-Schiffe.

In manchen Fällen wird ein Schiff vor zwei Anker gelegt. Dieses geschieht schon, wenn der erste Anker nicht fafst, also das Schiff vor demselben treibt. Man läfst alsdann den zweiten Anker in gleicher Weise, wie den ersten fallen. Sicherer ist es jedoch, beide Anker vorher mit einander zu verbinden oder zu verkatten. Dieses kann jedoch nur geschehn, wenn man die Gefahr schon bemerkt, während das Schiff noch unter Segel ist. Es wird alsdann das Ankertau durch mehrfaches Durchziehn durch den Ring des ersten Ankers und durch Umschlingen des Schafts desselben mit diesem fest verbunden, so dafs es sich von dem Ende des Schafts, wo die beiden Arme abgehn, nicht trennen kann, und demnächst wird es in geringer Entfernung dahinter an den Ring des zweiten Ankers gesteckt.

Der Gebrauch zweier Anker ist auch nothwendig, wenn das Schiff in einem engen Revier liegt, wo Fluth und Ebbe das Umsetzen der Strömung veranlassen. Würde man in diesem Fall nur einen Anker benutzen, so müfste derselbe sich jedesmal drehn, und aufserdem könnte das Schiff beim Aufhören der Strömung weit seitwärts vor dem Winde abtreiben, so dafs es die Schiffahrt behinderte, oder auch wohl selbst gegen die Sandbänke triebe.

Man pflegt es daher vor zwei Anker zu legen, von denen der eine es bei der Fluth, und der andere bei der Ebbe hält. Bevor das Schiff an die Stelle kommt, wo es liegen soll, läfst man den einen Anker fallen, und segelt alsdann über die Liegestelle hinaus, um hier den zweiten Anker auszuwerfen. Demnächst wird das Schiff an dem ersten Ankertau zurückgewunden, bis es sich in der Mitte zwischen beiden Ankern befindet. Die beiden Taue oder Ketten, von denen die eine durch das rechtseitige, und die andere durch das linkseitige Klüsgatt gezogen ist, werden nunmehr scharf angewunden, um die Anker in die richtige Lage zu bringen, und es ist ersichtlich, dafs alsdann das Schiff sehr nahe an derselben Stelle liegen bleibt, wenn die Strömung von der einen, oder von der andern Seite kommt. Hiedurch wird auch die Möglichkeit geboten, dafs Schiffe sehr nahe neben einander ankern können, ohne dafs ihre Taue sich umschlingen oder sie selbst gegen einander stofsen. In diesem Fall ist jedoch dafür zu sorgen, dafs beim Umsetzen des Stroms die Schiffe auf demselben Wege zurückdrehn, auf dem sie sich vorher in der entgegengesetzten Richtung gedreht hatten. Geschieht dieses nicht, so winden beide Taue oder Ketten vor dem Buge sich um einander, wobei eine Beschädigung leicht eintritt, und das Anholen jedes einzelnen unmöglich wird. Durch rechtzeitiges Beisetzen einzelner Segel läfst sich dieses gewöhnlich leicht vermeiden. Das beschriebene Manöver setzt aber immer voraus, dafs die Ankerstelle ziemlich geschützt ist und von starkem Seegange nicht getroffen wird, weil ein solcher, wenn die Wellen seitwärts anlaufen, die Taue zu sehr angreifen, auch die Anker bald lösen würde.

Zuweilen befindet sich die Rhede schon innerhalb der Strommündung, und wenn daselbst besondere Häfen eingerichtet sind, so wird im Gegensatz zu diesen der Ankerplatz im Strom wieder die Rhede genannt. Diese Bezeichnung giebt insofern zu keinen Verwechselungen Veranlassung, als in solchem Fall eine äufsere Rhede meist nicht existirt, oder nicht benutzt wird, wenn die innere immer zugänglich ist, auch hinreichende Tiefe hat. An der Ostsee wird die Strommündung niemals Rhede genannt, vielmehr bildet sie oft schon den Hafen.

Die Anlagen zur Sicherung einer Rhede im offnen Meer oder auch in einer von Natur schon ziemlich geschützten

Bucht sind jedesmal sehr kostbar, weil grofse Tiefen durchbaut werden müssen, und es giebt nur wenig Beispiele, wo dieses geschehn ist. Nicht selten werden Vorschläge gemacht, durch schwimmende Wellenbrecher die dahinter liegenden Schiffe zu sichern. Ein Versuch dieser Art wurde vor dem Hafen la Ciotat wirklich gemacht, doch mifsglückte er hier vollständig, wie auch bei Brighton.

Das wichtigste Beispiel zur Sicherung einer Rhede ist in der Bucht von Cherbourg zur Ausführung gekommen. Dieser Bau bietet nicht nur an sich ein grofses Interesse wegen der verschiedenen Constructions-Arten, die im Lauf der Zeit daran versucht wurden, und wegen der dabei gemachten Erfahrungen, sondern aufserdem ist er für die Entwickelung des See- und Hafenbaues von unverkennbarem Einflufs gewesen, und zweimal haben die Ansichten, die sich bei ihm geltend machten, auch in England und zum Theil in Deutschland Eingang gefunden. Es wird sich daher rechtfertigen, wenn derselbe im Folgenden ausführlich und besonders behandelt wird. Hier mag nur erwähnt werden, dafs dieser Schutzdamm oder Wellenbrecher nahe eine halbe Deutsche Meile lang ist, und sich bis 74 Fufs hoch über den natürlichen Boden erhebt. Der letztere liegt nämlich bis 38 Fufs unter dem Niedrigwasser der Aequinoctial-Springfluthen. Der Fluthwechsel bei solchen mifst 23 Fufs, und der Damm erhebt sich mit seiner Krone noch 13 Fufs über die höchsten Fluthen.

Ein ähnlicher Bau wurde im Anfange dieses Jahrhunderts auf der südlichen Küste von England in der Bai von Plymouth ausgeführt, um eine gesicherte Rhede vor den hier belegenen Etablissements der Marine darzustellen. Der Wellenbrecher, nachgebildet dem Cherbourger, wie derselbe damals theils ausgeführt war, theils ausgeführt werden sollte, erhielt die Länge von nahe einer Viertel Deutschen Meile. Die Krone erhebt sich aber nur 2 Fufs über die höchsten Fluthen, während der natürliche Boden ungefähr eben so tief unter dem Niedrigwasser der Aequinoctial-springfluthen lag, als bei Cherbourg. Der gröfste Fluthwechsel mifst hier $17\frac{1}{2}$ Fufs. Dieser Bau wurde unter Rennie's Leitung 1812 begonnen.

Auch in Nordamerika kam in den Jahren 1829 bis 1834 unter Strickland's Leitung ein Wellenbrecher, von geringeren

Dimensionen, zur Ausführung, nämlich nordwestlich vom Cap Henlopen in der weiten Bucht vor der Mündung des Delaware. Derselbe ist etwa 200 Ruthen lang. Er wurde bei einer Wassertiefe von 20 bis 30 Fufs aus einer Schüttung von kleinen Steinen ausgeführt. Es kam darauf an, nicht nur den nach Philadelphia aufgehenden Schiffen eine Rhede zu bieten, sondern auch für die lebhafte Küstenschiffahrt einen Sicherheitshafen zu bilden. Wenn der Wellenschlag in dieser Bucht auch nicht bedeutend war, und die Wellenhöhe niemals 3 Fufs erreichte, so war das Ankern auf der ungedeckten Rhede doch wegen der vielen Untiefen sehr gefährlich. Der Fluthwechsel beträgt $6\frac{1}{2}$ Fufs. Der Wellenbrecher erhebt sich 6 Fufs über das höchste Wasser und ist in der Krone 24 Fufs breit. Später hat man ihn mit grofsen Steinen überdeckt.

Bald bemerkte man indessen, dafs noch eine andre Gefahr, als der Seegang, die hier liegenden Schiffe bedrohte. Wenn nämlich das Eis im Delaware aufgeht, so treibt es gerade auf die Rhede. Um es von hier abzuhalten, wurde daher noch ein zweiter Damm, der sogenannte Eisbrecher, westwärts von dem ersten in der Länge von etwa 100 Ruthen ausgeführt. Hiernach hat die Rhede drei Zugänge erhalten. Der östliche ist 100 Ruthen, der nördliche zwischen den beiden Dämmen 130 und der westliche 420 Ruthen weit. Es war Absicht, den zweiten Damm noch etwa um 300 Ruthen zu verlängern, als man bemerkte, dafs die geschützte Rhede in sehr auffallender Weise sich immer mehr verflachte, woher man von weitern Verbesserungen abgesehn hat. *)

Zuweilen hat man auch die Hafenmündungen gegen das Eintreten der Wellen in ähnlicher Weise, wie die Rheden, dadurch gesichert, dafs isolirte Dämme davor gelegt sind. Dieses ist z. B. bei Civita Vecchia geschehn und eben so hat man auch den Hafen von Cette in den Jahren von 1820 bis 1830 durch einen 148 Ruthen langen Wellenbrecher zu decken gesucht.

Durch Anlagen dieser Art, wodurch zugleich Rheden, wenn auch nur von mäfsigem Umfang künstlich gebildet werden, erreicht

---

*) Travaux publics des Etats-unis d'Amérique par Malézieux. Paris 1875. pag. 426.

man ohne Zweifel nicht nur den grofsen Vortheil, dafs der Wellenschlag sich wesentlich mäfsigt, sondern man gewinnt für den Hafen auch zwei Mündungen, von denen nach der jedesmaligen Richtung des Windes beim Ein- oder Ausgehn die eine oder die andre benutzt werden kann. Nichts desto weniger sind diese isolirten Dämme doch immer gefährlich, da sie zu Versandungen Veranlassung geben. Gemeinhin pflegt dabei noch die Absicht zum Grunde zu liegen, dafs eine kräftige Strömung, die den Sand forttreibt, möglichst befördert werden soll. Dieses läfst sich indessen nicht erreichen, vielmehr kann der isolirte Damm die Verflachungen dahinter nur befördern. Wenn das Meer steigt, so wird in der ihm zugekehrten Oeffnung eine starke Einströmung sich bilden, mit der auch mehr Sand, als vor der Anlage des Dammes, in diesen Raum eintreibt. Die Strömung mäfsigt sich aber, wie das Profil sich erweitert, der Sand schlägt also zu Boden. Indem aber durch die gegenüber stehende Oeffnung das eindringende Wasser wieder abfliefst, so setzt sich diese Erscheinung so lange fort, als die See steigt. Wäre die Rhede nur mit einer Oeffnung versehn, so würde sie sich nur einmal füllen, also die zuströmende Masse des Wassers und des Sandes wäre viel geringer.

Dazu kommt noch, dafs durch das Aufhören des Wellenschlags das Niederfallen des eintreibenden Sandes gleichfalls befördert wird. Diese ungünstigen Wirkungen haben sowol bei Cette, wie am Delaware, sich sehr auffallend gezeigt.

§ 35.

Frühere Bauten bei Cherbourg.

Es ist bereits erwähnt, dafs die Bauten bei Cherbourg und namentlich der Wellenbrecher, der die dortige Rhede schützt, von überwiegendem Einflusse auf die Hafen-Baukunst im Allgemeinen gewesen ist. Aufserdem ist der Kriegshafen daselbst von grofser Bedeutung, und wenn man dieses von dem dortigen Handelshafen auch nicht sagen kann, so treten dennoch bei demselben diejenigen Eigenthümlichkeiten der Anordnung in sehr einfacher Form hervor,

welche in den meisten Häfen, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, sich zu wiederholen pflegen. Es wird sich daher rechtfertigen, wenn diese verschiedenen Anlagen im Nachstehenden ausführlich beschrieben werden.

Cherbourg, in dem Scheitel einer flachen Bucht auf der weit vortretenden Halbinsel Cotentin belegen, konnte in früherer Zeit keine merkantilische Bedeutung haben, da es auf der Südseite, wo es allein mit dem Binnenlande in Verbindung steht, durch einen hohen Bergrücken begrenzt wird, über den keine bequeme Strafse führte. In den Kriegen zwischen Frankreich und England spielte es dagegen eine wichtige Rolle. Der Insel Wight und dem Hafen Portsmouth gegenüber liegend, war es den feindlichen Angriffen um so mehr ausgesetzt, als es bei seiner abgeschlossenen Lage vom Binnenlande aus nicht leicht unterstützt werden konnte. Vauban sagt daher, Cherbourg sei das Wirthshaus am Canal, in welches die Engländer in jedem Kriege einkehren. Derselbe verkannte aber nicht, welche grofse Bedeutung dieser Ort für Frankreich haben würde, wenn es möglich wäre, daselbst eine Station zu bilden, wo eine Kriegsflotte gegen alle Stürme geschützt liegen könnte. Seit 1665 wurde daher schon an die Umschliefsung der Rhede gedacht, und man war nur zweifelhaft, ob die Bucht bei Cherbourg oder diejenige bei la Hougue, auf der Ostseite der Halbinsel Contentin, und etwa 4 Deutsche Meilen von Cherbourg entfernt, sich hierzu mehr eigne.

Unter Ludwig XIV. wurde 1740 der alte Handelshafen, der durch die Mündung des kleinen Flüfschen Divette gebildet war, und der bei jeder Ebbe trocken lief, wesentlich verbessert, indem man den Vorhafen von dem innern Bassin durch eine Dockschleuse trennte, so dafs der hintere Theil als Dock oder Flotthafen den hohen Wasserstand zurückhielt. In dieser Weise stellt die Situationszeichnung in Bélidor's Architecture hydraulique *), die 1750 erschien, den Hafen dar. Zwei Hafendämme, die sich bis zur Grenze des Niedrigwassers fortsetzen, bilden nach dieser Zeichnung die Einfahrt in den geräumigen Vorhafen, und hinter diesem liegt der Flotthafen, dessen Gestalt freilich von der des gegenwärtigen wesentlich abweicht. Zwischen beiden

*) Seconde partie, Tome I, Taf. LI.

befindet sich nicht nur die Dockschleuse, sondern an beiden Seiten der letztern noch zwei Canäle von je 9 Fufs Weise, welche durch Schütze geschlossen waren und zum Spülen des Vorhafens benutzt wurden. Der Flotthafen, in den sich die Divette ergiefst, diente also damals zugleich als Spülbassin.

Nach der Charte der Rhede bei Cherbourg, die de Cessart*) mittheilt, liegt das Spülbassin, wie auch gegenwärtig der Fall ist, auf der östlichen Seite des Flotthafens, und es wird nicht nur durch die darin eintretende Fluth, sondern auch durch den Flufs Divette gefüllt.

Unter den sonstigen Veränderungen, die in neuerer Zeit an diesem Hafen vorgekommen sind, wäre zu erwähnen, dafs der Flotthafen bedeutend verlängert ist, wogegen aus der Vergleichung der Situationspläne aus verschiedenen Zeiten sich eine auffallende Verkürzung des westlichen Hafendamms ergiebt. Etwa um das Jahr 1820 wurden beide Hafendämme auf einen grofsen Theil ihrer Länge zerstört, und man hat seitdem nur den östlichen wieder hergestellt, weil der westliche niemals zur Wirkung gekommen war, indem sich vor demselben stets eine Sandbank ablagerte.

Der Handelshafen besteht gegenwärtig, wie die Situationszeichnung Fig. 108 angiebt, zunächst aus der ganz geraden Hafenmündung oder dem langen von beiden Hafendämmen eingeschlossenen Halse (le Chenal). Die Breite desselben mifst 160 Fufs und seine Länge 128 Ruthen, doch ist, wie bereits erwähnt, der westliche Hafendamm bedeutend kürzer und nur 74 Ruthen lang. Die Hafendämme sind aus Bruchsteinmauerwerk ausgeführt, mit Granitquadern eingefafst, etwa 30 Fufs breit und erheben sich einige Fufs über den höchsten Wasserstand. Die Küstenströmung von der Fluth herrührend, welche den Strom bei der Ebbe weit überwiegt, ist im Allgemeinen von Westen nach Osten gerichtet, und diese Richtung setzt sich auch noch gegenwärtig, nach dem der Wellenbrecher erbaut ist, innerhalb desselben fort. Von dem weitvortretenden Fort du Homet bis zum Fort des Flamands verfolgt indessen die Strömung den geraden Weg, und in der kleinen Bucht dazwischen, an welcher der Hafen

*) Description des travaux hydrauliques. Tome II. Paris 1808.

liegt, bildet sich ein starker Widerstrom, woher vor den Molen die Strömung von Osten nach Westen gerichtet ist. Auf dem Kopf des östlichen oder des am weitesten vortretenden Dammes befindet sich ein kleiner Leuchtthurm, auf dem ein rothes Licht unterhalten wird, das sich 32 Fufs über den mittleren Spiegel der See erhebt und bei halber Fluth angezündet wird.

Es dürfte angemessen sein, hier sogleich die andern Feuer zu benennen, durch welche die Rhede bei Cherbourg bezeichnet wird. Die Küste wird vorzugsweise durch zwei Feuer erster Ordnung markirt. Eines derselben befindet sich auf der Pointe de Barfleur. Dasselbe ist ein Drehfeuer, das von 30 zu 30 Secunden sich bis zu einem schwachen Schimmer vermindert, und 287 Fufs über dem Meeresspiegel angebracht ist. Das zweite auf Cap de la Hague ist ein festes Feuer, das 153 Fufs über dem Meeresspiegel brennt. Beide sind $6\frac{1}{2}$ Deutsche Meilen von einander entfernt, und bezeichnen die östliche und westliche Ecke von dem nördlichen Ufer der Halbinsel Cotentin. In der Mitte zwischen ihnen befindet sich die Bucht von Cherbourg. Diese ist aber aufser dem bereits beschriebenen Hafenfeuer noch durch eine Anzahl andrer kleiner Feuer markirt, nämlich zunächst durch ein festes weifses Feuer in dem Fort auf der Insel Pelée, ferner durch ein festes grünes Feuer auf der östlichen Ecke des Wellenbrechers, sodann durch ein Drehfeuer in dem Fort Central des Wellenbrechers, das von 3 zu 3 Minuten vollständig verschwindet, aufserdem durch ein festes rothes Feuer auf der westlichen Ecke des Wellenbrechers und endlich durch ein festes weifses Feuer in dem Fort Querqueville. Die Mündung des Kriegshafens sollte nach dem ursprünglichen Plan noch durch zwei Leuchtthürme bezeichnet werden.

Der Handelshafen besteht ferner aus einem geräumigen Vorhafen von 95 Ruthen Länge und 53 Ruthen Breite. Derselbe wird zur Zeit des niedrigen Wassers beinahe in seiner ganzen Ausdehnung trocken und es bleibt darin nur eine tiefere Rinne, die von dem Spülstrom vorzugsweise getroffen wird. Die Schiffe, welche im Vorhafen liegen, setzen sich also während der Ebbe auf den Grund auf, doch ist derselbe sehr rein und ziemlich eben, und aufserdem ist der Wellenschlag hier nicht von Bedeutung.

Die Dockschleuse besteht aus einem einzelnen Thor-

paar, das nach innen aufschlägt, sie hält also den Stand des Hochwassers in dem Binnenhafen zurück. Sie ist $41\frac{1}{2}$ Fufs weit und ihr Drempel liegt $12\frac{1}{2}$ Fufs unter dem Hochwasser bei todten Fluthen. Es können sonach bei allen Fluthen Schiffe von 200 Last und gewöhnlich noch gröfsere eingebracht werden.

Der Binnenhafen oder der Flotthafen ist 108 Ruthen lang und $33\frac{1}{2}$ Ruthen breit, er fafst über 200 Schiffe verschiedener Gröfse und bietet 209 Ruthen Länge Kai den Schiffen, an welche dieselben unmittelbar anlegen können.

An der südlichen Seite des Binnenhafens sind noch zwei Hellinge erbaut und eine dritte befindet sich in der nordwestlichen Ecke des Vorhafens. Eine kurze Eisenbahn führt von dem Flotthafen nach den Steinbrüchen des in der Nähe befindlichen Roule-Gebirges. Nachdem nunmehr die Eisenbahn von Paris nach Cherbourg fertig ist, hat man dieselbe auch nach den Kais des Handelshafens verlängert.

Endlich gehört zu dieser Anlage noch das Spülbassin an der östlichen Seite des Flotthafens. Dasselbe ist 160 Ruthen lang und durchschnittlich 16 Ruthen breit. Es nimmt den Flufs Divette auf, der indessen die Verlandung dieses Bassins wesentlich befördert, woher man schon lange daran gedacht hat, den Flufs zur Seite desselben unmittelbar nach der See ausmünden zu lassen. So oft der Vorhafen gespült werden soll, läfst man das Hochwasser eintreten, und damit dieses sich nicht in das niedrige Thal des Flusses ergiefst, so mufs alsdann die Verbindung zwischen beiden durch Schütze geschlossen werden. Das Spülbassin mündet durch einen überwölbten Canal auf der östlichen Seite der Dockschleuse in den Vorhafen und wird durch ein gewöhnliches Spülthor mit zwei ungleichen Flügeln geschlossen, wie solche im II. Theil § 74 beschrieben sind. Die Ausflufsöffnung, etwa 15 Fufs weit, ist nach der Längenrichtung des Vorhafens gekehrt und liegt nahe an der Schleuse.

Die zweite und ohne Zweifel die bedeutendste Anlage in der Bucht bei Cherbourg ist der Wellenbrecher, der die Rhede bei nördlichen Winden gegen Wellenschlag schützt. Längs der ganzen Französischen Küste zwischen Dünkirchen und Brest, also nahe auf 60 Deutsche Meilen Länge, gab es keinen Hafen, in den gröfsere Schiffe einlaufen und worin sie bei Stürmen ohne

Gefahr liegen konnten. Der Mangel war um so fühlbarer, als die gegenüberliegende Englische Küste mehrere sehr geschützte und tiefe Buchten, wie bei Southampton, Portsmouth und Plymouth enthält, also die Handelsschiffe sich hier stets bergen, auch armirte Fahrzeuge sicher liegen, und die günstige Gelegenheit zum Auslaufen wahrnehmen konnten, während die Französischen Schiffe in Kriegszeiten allen Zufälligkeiten eines feindlichen Angriffs, wie der Witterung, ausgesetzt waren, ohne dafs sie irgend wo im Canal Schutz fanden. Gegen das Ende des Amerikanischen Kriegs hatte man sich endlich überzeugt, dafs ein Hafen oder wenigstens eine geschützte Rhede hier nothwendig sei, und die Frage, ob die Bucht von Cherbourg oder von la Hougue zu wählen sei, wurde 1777 durch den Marine-Capitän de la Bretonnière entschieden, der den Nachweis führte, dafs in der Bucht von la Hougue mehr erdige Theilchen durch die Küstenströmung herbeigeführt würden, als bei Cherbourg, wo sich nur Sand, und auch dieser nur in geringem Maafse, vorfinden sollte.

In den Jahren 1779 und 1780 wurden die beiden Forts auf der Insel Pelée und auf der westlich von Cherbourg weit vortretenden Ufer-Ecke le Homet erbaut. Das dritte sehr bedeutende Fort am Meere, nämlich Querqueville, kam erst 1787 hinzu.

Das Project zum Wellenbrecher mochte früher schon vielfach in Ueberlegung genommen sein. Belidor *) äufsert sich darüber ausführlich, und schlägt vor, von der Spitze le Homet und von der Insel Pelée aus zwei Dämme gegen einander zu führen, die zwischen sich eine Oeffnung von etwa einer Viertel Deutschen Meile frei lassen, aufserdem aber von der südlichen Spitze der Insel Pelée einen zweiten Damm in südlicher Richtung nach dem Ufer zu führen und in der Mitte desselben eine Oeffnung von 40 Ruthen Weite anzubringen. Nach diesen Projecten würde die umschlossne Rhede nur in einem kleinen Theil die Tiefe von 3 Faden gehabt haben und gerade hier gegen Wellenschlag nicht gesichert gewesen sein.

De la Bretonnière hatte gleichfalls ein Project angegeben, welches de Cessart kurz andeutet. Im Abstande von 1 Lieu vom Ufer sollte nämlich ein 2000 Toisen oder 1035 Ruthen

*) Architecture hydraulique. II. Partie, Volume II. § 667.

langer isolirter Damm ausgeführt werden, der nicht nur an seinen beiden Enden Zugänge zur Rhede frei läfst, sondern aufserdem in der Mitte noch eine Oeffnung zu gleichem Zweck erhält. Es ergiebt sich, dafs nach diesem Vorschlage der Wellenbrecher 200 bis 300 Ruthen weiter seewärts gelegt worden wäre, als er später ausgeführt ist, und dafs die geschützte Rhede hierdurch in hohem Grade an Ausdehnung gewonnen haben würde, so wie sie auch wahrscheinlich mit bequemeren Zugängen versehn worden wäre. Dagegen ist nicht zu verkennen, dafs die Kosten der Anlage und die Schwierigkeiten der Ausführung sich dabei gleichfalls wesentlich erhöht hätten. Was die Art der Ausführung betrifft, so entschied sich de la Bretonnière für dieselbe Construction, die bereits bei la Rochelle mit Erfolg angewendet war. Er glaubte nämlich, verschiedene starke Strömungen nahe über dem Grunde bemerkt zu haben, und besorgte daher, dafs gewöhnliche Steinschüttungen sich nicht halten würden, woher er empfahl, alte Schiffe auszumauern und neben und über einander zu versenken, demnächst aber lose Steine dazwischen und darüber zu schütten, so dafs auf diese Weise ein Damm entstände, der sich 50 Pariser Fufs über die Sohle erhebt.

Es wurde nunmehr eine Commission ernannt, um dieses Project zu prüfen. Dieselbe konnte sich nicht mit der vorgeschlagenen Construction einverstanden erklären, weil sie namentlich besorgte, dafs die erforderliche Anzahl alter Schiffe nicht aufzutreiben sein werde. Das Ministerium schien indessen auf das Project grofses Gewicht zu legen, und so wurde beschlossen, dafs vor der definitiven Entscheidung noch de la Bretonnière gehört werden solle, der inzwischen das Commando über ein Schiff erhalten und auf diesem eine weite Reise angetreten hatte.

In der Zwischenzeit legte de Cessart, ältester General-Inspector des Wasserbaues, dem Minister und Staats-Secretär der Marine, de Castries, ein Project zur Verbesserung des Hafens von Havre vor. Er wurde bei dieser Gelegenheit um seine Ansicht gefragt, in welcher Weise wohl die Rhede bei Cherbourg in solcher Ausdehnung, dafs 80 bis 100 Kriegsschiffe daselbst ankern könnten, gegen Wellenschlag und feindliche Angriffe zu sichern sei. De Cessart rühmt sich, dieser Aufgabe sogleich nachgekommen zu sein, und 14 Tage darauf schon das voll-

ständige Project dem Minister vorgelegt zu haben. Dieses geschah 1781.

Sein Project bezog sich, wie es scheint, allein auf die Anordnung und Constructions-Art des Damms, ohne die Richtung desselben zu berühren. Es wird nur gesagt, dafs der Damm ungefähr 2000 Toisen lang werden solle. De Cessart meint, der Angriff der Wellen gegen einen durch keine Oeffnungen unterbrochenen Damm sei zu stark, als dafs ein solcher sicher widerstehn könne, dieses habe sich an demselben Damme bei la Rochelle gezeigt, auf den de la Bretonnière Bezug genommen. Es bleibe daher nur übrig, den Wellenschlag durch einzelne neben einander stehende, steil aufsteigende Körper zu mässigen. Zu diesem Zweck müsse man die Rhede mit einer Reihe von abgestumpften Kegeln einschliefsen, die sich in ihrer breiten Basis berühren. Er wolle daher in der Entfernung von einer halben Lieu vom südlichen Ufer 90 kegelförmige Kasten von Holz, ohne Boden, neben einander stellen, deren Basis 150 Fufs *) und deren obere Grundfläche 60 Fufs im Durchmesser hält, die aber 60 bis 72 Fufs hoch sind, indem sie noch einige Fufs über das Hochwasser bei Aequinoctial-Springfluthen vorragen. Die schmalen Oeffnungen dazwischen und die steilen Wände, die sich unter 53 bis 58 Graden gegen den Horizont erheben, würden den Wellenschlag so sehr mäfsigen, dafs die dahinter liegenden Schiffe nicht mehr in nachtheiliger Weise von demselben getroffen werden könnten. Aufserdem würden aber die Oeffnungen auch zu enge sein, als dafs selbst bei ruhiger See feindliche Schiffe hindurchzufahren wagen dürften. Die Kegel würden leicht auf dem Strande zu erbauen und bei Hochwasser auf ihre Stelle zu bringen und zu versenken sein. Sie sollten alsdann schleunig in ihrer ganzen Höhe mit Steinen angefüllt, und sobald die Schüttung sich gesetzt hat, bis zum niedrigsten Wasser wieder entleert, und von hier ab mit Bruchsteinen in Puzzolan-Mörtel vollgemauert und mit einer Lage Granit-Quadern überdeckt werden. Die Construction und Art der Versenkung wurde zugleich näher beschrieben,

*) Diese Angaben beziehn sich auf Pariser Fufsmafs, das ungefähr im Verhältniss von 30 zu 29 gröfser ist, als das Rheinländische. Die Toise hält 6 Pariser Fufs.

und eine vergleichungsweise sehr kurze Dauer der Bauzeit, sowie auch sehr mässige Kosten der Ausführung in Aussicht gestellt.

Wie abenteuerlich und unüberlegt dieses Project auch war, so erweckte die Zuversicht, mit der es vorgelegt wurde, doch grofses Vertrauen. Es wurde einer Commission, bestehend aus höheren Marine-Offizieren, Militär-Ingenieuren und Wasserbaumeistern zur Prüfung vorgelegt, unter letzteren befand sich auch Perronet. Wenn ein Plan höhern Orts bereits gebilligt worden, so ist es bedenklich und gemeinhin auch ganz erfolglos, dagegen noch Zweifel auszusprechen. Die Commission begnügte sich daher, einen vorläufigen Versuch über die Zusammensetzung und den Transport eines Kegels zu empfehlen.

Im Anfange des Jahrs 1782 wurde ein solcher Versuch an der Meeresküste ohnfern des Havre angeordnet, und zwar hatte dieser Kegel nach de Cessart's Angabe nur 36 Fufs Höhe, während seine Basis 150 Fufs im Durchmesser hielt. Indem die Neigung seiner Seitenfläche auf 60 Grade bestimmt war, so betrug sein oberer Durchmesser 108 Fufs.

Die Construction dieses und der übrigen Kegel wird bei Gelegenheit der hölzernen Hafendämme beschrieben werden, hier ist nur das Geschichtliche über diesen berüchtigten Bau mitzutheilen.

Die Ausführung des zu diesem Versuch bestimmten Kegels ging ziemlich langsam von statten, indem wiederholte Stürme, wie sie an der Mündung der Seine nicht selten sind, mehrmals den begonnenen Bau stark beschädigten. Innerhalb vier Monaten war der Kegel endlich aufgestellt und in sich verbunden, und am 8. November, kurz vor Eintritt des Hochwassers, hob er sich mittelst der daran befestigten Tonnen. Man bugsirte ihn etwa 150 Ruthen seitwärts, und versenkte ihn alsdann, indem die Tonnen gelöst wurden. Dieser Versuch begründete kein Bedenken gegen das gewählte Verfahren und der Kegel wurde wieder in die einzelnen Verbandstücke zerlegt, um diese auf der Rhede von Cherbourg verwenden zu können.

Am 1. April 1783 wurde endlich der Bau des Wellenbrechers genehmigt und de Cessart mit der Ausführung desselben beauftragt. Um einen schnellen Fortgang der Arbeiten zu ermöglichen, wurden 2000 Soldaten ihm zur Disposition gestellt,

doch waren manche andre Anlagen nothwendig, bevor der eigentliche Bau beginnen konnte. Es mufsten Casernen für das Militär und die übrigen Arbeiter, verschiedne Strafsen nach den Baustellen und Steinbrüchen eingerichtet, ein kleiner Hafen zur bequemen Abfuhr der Steine u. dgl. angelegt werden. Dieser Hafen erhielt seine Stelle bei dem Dorfe Becquet, etwa 1 Deutsche Meile ostwärts von Cherbourg, woselbst sich ein brauchbarer Steinbruch in unmittelbarer Nähe des Meers befand. Die Baustelle für die Kegel wurde bei Chantereyne auf dem Strande südlich der Felsen le Galet, also auf einem Terrain eingerichtet, welches gegenwärtig innerhalb des Kriegshafens liegt.

Ein Kegel von 60 Fufs Höhe wurde in demselben Jahre fertig, doch verzögerte sich sein Transport und seine Versenkung, indem aufs Neue Zweifel angeregt wurden, ob derselbe mittelst der beabsichtigten Methoden sicher gehoben und eben so sicher versenkt werden könne. Zur Entscheidung dieser Frage wurde nochmals eine Commission berufen, die ohnerachtet der heftigen Widersprüche Seitens der Marine-Offiziere sich doch schliefslich für die Vorschläge de Cessart's aussprach. Am 6. Juni 1784 wurden beim niedrigen Wasser 64 Tonnen angebracht, welche den Kegel heben sollten, und nachdem das Wasser 9 Fufs neben dem Kegel gestiegen war, so erhob er sich und schwamm ganz regelmäfsig, ohne sich nach einer Seite überzuneigen. Vier grofse Prahme mit Erdwinden waren auf dem Wege, den er durchlaufen sollte, vorher vor Anker gelegt. Indem der Wind südlich war, so trieb der Kegel sogar von selbst seiner Richtung zu, aber der Transport verzögerte sich doch in hohem Grade, indem die sehr schweren Schlepptaue wiederholentlich in Unordnung kamen, und wegen ihres übermäfsigen Gewichts nicht schnell umgelegt werden konnten. Man sah sich sogar mehrmals gezwungen, sie zu durchschneiden und durch andre zu ersetzen. Endlich entschlofs sich de Cessart, statt der Winden einige Segelschiffe vorzuspannen, die dann nach 6 $^1/_2$ Stunden den Kegel in die vorher bestimmten Alignements brachten, wo er vor Anker gelegt wurde.

Der Transport hatte sich so sehr verzögert, dafs das Niedrigwasser bereits vorüber war, als mit dem Ablösen der Tonnen der Anfang gemacht werden sollte. Es trat also die

Besorgnifs ein, dafs der Kegel von der bereits beginnenden Fluth aufs Neue gehoben und bei unruhiger See zerschlagen werden möchte. Namentlich fürchtete dieses der Festungs-Commandant, und gegen de Cessart's Anordnung liefs er einen Trupp Soldaten auf den Kegel treten, welche sogleich die Taue, woran die Tonnen hingen, durchschneiden mufsten. Dieses geschah indessen ganz ungleichmäfsig, und der Erfolg war, dafs der Kegel sich sehr stark überneigte. Die Ingenieure setzten es mit Mühe durch, dafs nur an der Seite, wo der Kegel sich am meisten hob, das Abschneiden fortgesetzt werden durfte, und so stellte sich denn schliefslich der Kegel wieder senkrecht, und erreichte in dieser Stellung den Grund.

Bei dieser Gelegenheit zeigte sich, wie de Cessart erzählt, eine ganz unerwartete Erscheinung. Der Grund lag nämlich 10 Fufs höher, als man geglaubt hatte. Der Kegel sollte bei Niedrigwasser 42 Fufs eintauchen, er tauchte wirklich aber nur 32 Fufs ein. Dieser Irrthum ist für die ganze Anlage im höchsten Grade nachtheilig geworden, denn dieser erste Kegel war unglücklicher Weise derjenige, der nächst der Insel Pelée das Ende des Damms bilden sollte. Gleich beim Versenken desselben zeigte sich also schon, dafs die östliche Einfahrt der Rhede nicht die nöthige Tiefe habe, um bei allen Wasserständen das Einlaufen von Linienschiffen zu gestatten. De Cessart sagt bei dieser Gelegenheit, dafs die Tiefenmessungen nicht von ihm, sondern von der Militär-Behörde gemacht worden seien, und ihm sogar nicht gestattet gewesen, sich von der Richtigkeit derselben zu überzeugen. In dem von de Cessart aufgestellten Project ist, soweit er dasselbe mittheilt, von genauen Sondirungen gar nicht die Rede, und wie sich aus andern Beschreibungen dieses Baues ergiebt, so wurde die Lage des Wellenbrechers und seine Begrenzung ganz unabhängig von allen nautischen Verhältnissen, allein nach militärischen Rücksichten bestimmt. Der Damm ist nicht in einer geraden Linie, noch auch in einem Bogen, sondern in zwei Linien gezogen worden, deren Verlängerungen das Fort von Querqueville und das auf der Insel Pelée treffen. Der längere Flügel liegt auf der Seite des stärkern Forts, der erste dagegen nähert sich dem letztbenannten Fort bis auf 250 Ruthen. Der dazwischen liegende Zugang zur Rhede konnte also auch in damaliger Zeit

ziemlich sicher bestrichen werden. Dieser ursprünglich beabsichtigte Endpunkt des Wellenbrechers ist bekannt, weil hier der erste Kegel wirklich versenkt wurde, wie weit sich dagegen der Damm dem Fort Querqueville nähern sollte, ist zweifelhaft. Legt man die von de Cessart bezeichnete Länge von 2000 Toisen zum Grunde, so hätte der westliche Endpunkt noch etwa 90 Ruthen weiter herausgerückt werden müssen, als er jetzt liegt, und die westliche Einfahrt wäre gleichfalls beschränkt worden. Es ist indessen, wie sich aus dem ferneren Verlauf des Baues ergiebt, sehr wahrscheinlich, dafs es wirklich Absicht gewesen, den westlichen Flügel eben so sehr dem Fort Querqueville zu nähern, wie der östliche dem Fort Pelée genähert wurde. Auf solche Weise würde man eine sehr sichere Rhede gebildet haben, die jedoch für Linienschiffe keinen bequemen Zugang gehabt hätte.

Die Mittheilungen von de Cessart, die vorzugsweise hierüber einige Auskunft geben, sind indessen sehr zweifelhaft, und es ist wahrscheinlich, dafs der Erbauer bei seinem vermeintlichen praktischen Sinn genaue Local-Untersuchungen für ganz entbehrlich hielt, und selbst beim Versenken des ersten Kegels nicht bemerkte, dafs derselbe die östliche Einfahrt zur Rhede sperrte. Hätte er dieses wahrgenommen, so würde er doch jedenfalls diesen Gegenstand zur Sprache gebracht und den Kegel, der noch lose auf dem Grunde stand, wieder zu heben, oder ganz zu beseitigen sich bemüht haben. Dieses unterliefs er aber nicht nur, sondern nahm sogar keinen Anstand, später einen neuen Kegel noch weiter ostwärts aufzustellen, wodurch der östliche Zugang noch mehr beschränkt wurde. Wenn aber de Cessart des bemerkten Irrthums Erwähnung thut und sich dabei entschuldigt, so darf nicht übersehn werden, dafs seine Beschreibung der dortigen Arbeiten noch das Jahr 1791 umfafst, also aus späterer Zeit herrührt, und dafs im Jahre 1789, in Folge der zufälligen Entdeckung, dafs die östliche Einfahrt nicht die nöthige Tiefe habe, eine genaue Sondirung der ganzen Rhede vorgenommen wurde, deren sehr ungünstige Resultate er ohne Zweifel erfahren hatte.

Anfang Juli 1784 wurde der zweite Kegel versenkt, derselbe, dessen unterer Theil im Havre zum Probeversuch bereits benutzt worden war. Er wurde auf der westlichen Seite des ersten so nahe demselben gestellt, dafs zwischen beiden Grund-

flächen nur ein freier Zwischenraum von 6 Fufs Breite übrig blieb. Dieser Kegel war bis zur Höhe des niedrigen Wassers mit Steinen gefüllt, als er bei einem heftigen Sturm im August desselben Jahrs in seinem obern Theil stark beschädigt wurde. Der Minister kam selbst nach Cherbourg, um sich von der Ausdehnung dieser Beschädigungen zu überzeugen. De Cessart meint, dieselben seien nicht von Bedeutung gewesen, doch besagen andre Nachrichten das Gegentheil und sprechen auch von manchen Schäden, die der erste Kegel gleichzeitig erlitten hatte, der vollständig mit Steinen gefüllt war.

Der Bau wurde indessen nicht unterbrochen, vielmehr sollte er so beschleunigt werden, dafs im nächsten, so wie in den folgenden Jahren immer je zehn Kegel zur Ausführung kämen. Dabei wurde jedoch die möglichste Ermäfsigung der Kosten anbefohlen. De Cessart erklärte Beides für unmöglich, um jedoch eine Ersparung eintreten zu lassen, so schlug er vor, man solle den zerstörten Kegel nicht wiederherstellen, vielmehr den dritten unmittelbar daneben versenken, und diesen mit dem ersten versuchsweise durch einen Damm verbinden, der aus schweren Steinen geschüttet würde. Sollte dieser Versuch befriedigend ausfallen, so möge man eben so lange Zwischendämme auch später zur Anwendung bringen, und zu diesem Zweck die Kegel in 50 Toisen Entfernung von einander versenken. Die Anzahl der nöthigen Kegel würde sich dadurch auf 64 beschränken.

Nachdem der Minister sich davon überzeugt hatte, dafs auch dieser gröfsere Abstand das Durchdringen feindlicher Kriegsschiffe nicht besorgen läfst, oder dafs solches doch durch übergespannte Ketten leicht zu verhindern sein werde, so genehmigte er, dafs die Kegel nunmehr in Abständen von 50 Toisen versenkt würden. Als jedoch im Jahre 1785 der dritte Kegel fertig war, wurde derselbe 106 Toisen entfernt von dem zweiten gestellt, doch scheint es, dafs man später noch einen vierten dazwischen versenkte, und dass bis zum siebenten Kegel die Entfernungen ungefähr auf 50 Toisen beschränkt blieben.

Im Mai 1786 wurde der achte Kegel in Gegenwart des Grafen von Artois versenkt und zugleich der Befehl gegeben, dafs der folgende Kegel schleunigst fertig gestellt werden solle, weil der König Ludwig XVI. den Transport und das Nieder-

lassen eines Kegels selber zu sehn wünsche. Nachdem ein Geschwader von 17 Kriegsschiffen auf der Rhede eingetroffen war, kam der König am 22. Juni Abends an, doch war seine Zeit sehr beschränkt, das Schauspiel mufste also möglichst bald begonnen und beendigt werden. Der neunte Kegel, der auf der westlichen Seite sich an die Reihe der bisher aufgestellten anschliefsen sollte, war fertig. Der Transport war aber bei dem westlichen Winde schwieriger und zeitraubender, als wenn man ihn nach der Ostseite des projectirten Dammes gebracht hätte. Dazu kam noch, dafs ein bequemer und zwar ein fester Altan in der Nähe erbaut werden mufste, von welchem aus der König, ohne den Schwankungen eines Schiffs ausgesetzt zu sein, die Versenkung beobachten konnte. Unter allen bisher aufgestellten Kegeln befand sich aber gerade der erste noch im besten Zustande, der also die gröfste Sicherheit bot, um diesen Altan zu tragen.

Beide Umstände erschienen so wichtig, dafs es nicht weiter darauf ankam, ob die östliche Einfahrt, der die erforderliche Tiefe bereits fehlte, durch neues Vorschieben des Dammes noch mehr verdorben würde. De Cessart war hierzu schnell entschlossen, doch fragte er bei dem Commandanten an, und dieser erklärte, die Breite der Mündung könne, ohne das Einlaufen eines Geschwaders zu erschweren, um 50 Toisen vermindert werden. In dieser Absicht wurde der Kegel auf die Ostseite des ersten gebracht, doch war er zufällig zu weit von demselben fortgetrieben und man mufste ihn wieder zurückwinden. Dieses war indessen schwierig, weil man zu lange und zu schwere Taue gewählt hatte, und um den König nicht warten zu lassen, so wurde der Kegel noch um 35 Toisen weiter, nämlich 85 Toisen vom ersten entfernt, vor Anker gelegt und versenkt. Es ist unbegreiflich, mit welcher Unbefangenheit de Cessart diese beispiellosen Mifsgriffe erzählt, doch fügt er hinzu, dafs der König ihm seine volle Zufriedenheit ausgedrückt und an alle betheiligten Ingenieure Geschenke und Auszeichnungen vertheilt habe.

Das so eben beschriebene Ereignifs bildete nicht allein den Glanzpunkt, sondern auch den Wendepunkt in der Geschichte dieses Hafenbaues. In demselben Jahr wurde noch ein Kegel und 1787 fünf andre versenkt, der Commandant liefs sie aber in Abständen von 140 Toisen von einander aufstellen. De Cessart

klagt, dafs sie wie isolirte Klippen erscheinen, und weder den Wellenschlag mäfsigen, noch auch sich gegenseitig unterstützen.

1788 waren wieder fünf Kegel verbunden, doch erklärte der Commandant, er wolle keinen mehr versenken, weil sie doch keinen Bestand haben, und noch weniger irgend welchen Einflufs auf den Wellenschlag erkennen lassen. Auf die Entscheidung des Ministeriums wurden jedoch drei derselben noch aufgestellt, nachdem sie zuvor bis zum niedrigsten Wasser abgeschnitten waren, weil die Erfahrung ergab, dafs der obere Theil in der kürzesten Zeit durch Wellenschlag zerstört wurde. Der Abstand dieser drei Kegel unter sich und gegen den nächst vorhergehnden betrug 250 Toisen. Die beiden übrigen Kegel wurden auf der Baustelle verkauft.

Hiermit schliefst die Geschichte dieser Erfindung. Es waren im Ganzen 18 Kegel über die Länge des gegenwärtigen Wellenbrechers vertheilt, doch waren ihre Abstände, wie erwähnt, sehr verschieden. Der auf der östlichen Ecke aufgestellte Kegel erhielt sich am längsten, indem er erst im Jahre 1800 von den Wellen zerschlagen wurde, er hatte also 14 Jahre 9 Monate gestanden. Die nächst stehenden, bis zu demjenigen, der in Gegenwart des Grafen von Artois versenkt wurde, erhielten sich durchschnittlich $3\frac{1}{2}$ Jahre und die letzten neun, von denen nur ein einziger ein halbes Jahr lang bestand, zerfielen durchschnittlich schon in 3 Monaten, indem sie theils von den Würmern zerfressen, theils von den Wellen abgebrochen wurden.

Diese 18 Kegel, mit Einschlufs der auf der Baustelle verkauften, so wie auch mit Hinzurechnung der Kosten ihrer Anfüllung mit Steinen, hatten sehr nahe $4\frac{1}{2}$ Millionen Francs gekostet. Bis zum Anfang des Jahres 1791 waren indessen, obwohl der Bau der Kegel aufgehört hatte, auf diesen Damm $21\frac{2}{3}$ Millionen Francs verwendet, also bei Weitem die Hauptsumme auf die Steinschüttungen zwischen den Kegeln. Zu den letztern hatte man bald so wenig Vertrauen, dafs man schon im Jahre 1789 die Reste aller Kegel, soweit die Verbandstücke derselben noch vorhanden waren und zur Zeit des niedrigen Wassers frei wurden, abschnitt oder aushob und beseitigte.

Es ist bereits erwähnt worden, wie wenig bei dem ganzen Bau die vorhandenen Tiefen beachtet waren. De Cessart beschwert

sich wiederholentlich, dafs der Commandant ihm diese falsch angegeben habe, und dafs daher die Kegel, die sämmtlich einige Fufs über den Wasserstand der Aequinoctial-Springfluthen vorragen sollten, bald um 10 Fufs zu hoch und bald wieder um eben soviel zu niedrig waren. Endlich im Anfange des Jahrs 1789 unternahm ein Marine-Offizier, Namens de Chavagnac, aus eignem Antriebe eine nähere Untersuchung der Rhede, und fand zu seinem Erstaunen, dafs an der östlichen Ecke des Dammes die Tiefe beim niedrigsten Wasser nur 25 Fufs betrug und nach der Insel Pelée hin sich immer mehr verminderte, dafs also die östliche Einfahrt nur bei mittleren und höheren Wasserständen von Linienschiffen befahren werden könne. Auch die westliche Einfahrt, die, wie es scheint, durch weitere Herausführung des Damms noch mehr verengt werden sollte, wurde durch ein Felsriff theilweise gesperrt, welches so weit vortrat, dafs im Abstande von 300 Ruthen von dem Fort Querqueville beim kleinen Wasser die Tiefe nur 15 Fufs betrug.

De Chavagnac machte hiervon sogleich Anzeige und es wurde darauf (im Juli 1789) eine genaue Tiefenmessung angeordnet. Dieselbe bestätigte die Richtigkeit der vorhergehnden Untersuchung, und in Folge dessen erging sogleich der Befehl, dafs der Damm auf der westlichen Seite nicht weiter verlängert werden solle. Dabei trat freilich der grofse Uebelstand ein, dafs das Fort Querqueville zu weit entfernt lag, als dafs mit den damaligen Geschützen von demselben aus der Eingang noch sicher hätte bestrichen werden können. Man hat sich deshalb später gezwungen gesehn, noch ein isolirtes Fort in der Nähe des tiefen Fahrwassers zu erbauen, dem man den Namen jenes Marine-Officiers, Fort de Chavagnac, beilegte. In dem Situationsplan Figur 108 ist letzteres angegeben, so wie darin auch die Tiefen-Linien nach neueren See-Charten bezeichnet sind. *)

Die bedeutenden Steinschüttungen, die noch bis zum Jahr 1792 fortgesetzt wurden, erreichten durchschnittlich die

*) Die vorstehenden Mittheilungen sind vorzugsweise aus dem bereits erwähnten Werk von de Cessart entnommen, die folgenden dagegen aus dem „Mémoire sur la digue de Cherbourg von Cachin, Paris 1820“, und aus den „travaux d'achèvement de la digue de Cherbourg von J. Bonnin. Paris 1857.“

Höhe des niedrigsten Wassers und es ragte darüber nur der Kegel an der östlichen Ecke des Damms hervor, der in seinem obern Theil in Cement ausgemauert war. In diesem Zustande blieb der Damm eine Reihe von Jahren, da während der Revolution die weitere Fortsetzung der Arbeiten unterbleiben mufste. Nichts desto weniger liefs die gesetzgebende Versammlung im Jahr 1792 sich von einer besonders dazu niedergesetzten Commission über den Stand des Baues, so wie über dessen bisherige Erfolge und über die passendste Art seiner Vollendung Bericht erstatten. Mitglieder dieser Commission waren theils See- und Ingenieur-Offiziere, aufserdem aber zwei sehr namhafte Wasserbau-Beamte, nämlich Lamblardie und Cachin.

Das Gutachten derselben besagte, dafs die bisher ausgeführte Steinschüttung aus Stücken bestände, die durchschnittlich nur $^1/_5$ Pariser Cubikfufs, also etwas weniger, als $^1/_4$ Rheinländischen Cubikfufs hielten. Dieselben seien bis auf 15 Fufs unter dem kleinsten Wasser sehr stark durch die Wellen vertrieben worden. Diejenigen Steine, welche an der Südseite auf der Kante der Krone liegen, könnten sich gegen den Stofs der Wellen nur halten, wenn ihr Gewicht, mit Rücksicht auf die Verminderung desselben im Wasser, diesem Angriff hinreichenden Widerstand leistete. Der Damm war versuchsweise auf eine Länge von 50 Toisen mit Steinen von 15 bis 20 Cubikfufs überdeckt, und es ergab sich, dafs diese kaum merklich bewegt waren und der gröfste Theil sogar seine Lage unverändert beibehalten hatte. Die sehr steile Böschung auf der Südseite, von $1^1/_2$ facher Anlage, hatte sich unverändert erhalten, der obere Theil der Schüttung war dagegen eingesunken, und namentlich zeigten sich sehr starke Angriffe an den Stellen, wo die Kegel die Gleichmäfsigkeit der Schüttung unterbrachen. Aufserdem bemerkte man auch, dafs die oben liegenden kleinen Steine abgerundet und vom Seetang frei waren, der sich sonst sehr stark angesetzt hatte. Hieraus ergab sich, dafs sie in dauernder Bewegung waren. Die Commission entschied sich daher, dafs es zur gehörigen Stabilität des Damms nothwendig sei, ihn mit Steinen von 15 bis 20 Cubikfufs (16,8 bis 22,4 Cubikfufs Rheinländisch) zu überdecken.

Um zu ermitteln, welche Höhe der Damm haben müsse, um die Wellen auf der Rhede so weit abzustillen, wie die Sicherheit

der daselbst liegenden Schiffe dieses erfordert, wurden zuverlässige Seeleute, welche den Hafen häufig besuchten, über die bisherige Wirkung des Damms befragt. Sie erklärten einstimmig, dafs selbst bei heftigem Seewinde die Rhede zur Zeit des niedrigen Wassers sehr ruhig bleibe, dafs jedoch mit dem Steigen des Wassers die Bewegung zunehme und zwei Stunden vor Hochwasser gefährlich werde. Es habe sogar den Anschein, dafs die Wellen, indem sie alsdann über den niedrigen Damm treten, eine noch heftigere Bewegung annehmen, wodurch namentlich diejenigen Schiffe bedroht werden, die in der Nähe des Damms ankern. Die Commission schlofs hieraus, dafs der Damm, wenn er bei allen Wasserständen einigermafsen wirksam sein sollte, wenigstens bis auf $14\frac{1}{2}$ Fufs unter Hochwasser der Springfluthen, oder $7\frac{1}{2}$ Fufs über Niedrigwasser derselben sich erheben müsse. Dieses sei jedoch das geringste Maafs. Solle die Rhede so geschützt werden, dafs man sie stets mit Chaloupen befahren kann, so müsse die Krone 8 Fufs höher liegen. Schliefslich empfahl jedoch die Commission, den Damm sogar bis 9 Fufs über das Hochwasser der Springfluthen aufzuführen.

Die Frage in Betreff der Vertheidigung der Rhede führte zu der Ueberzeugung, dafs auf dem Wellenbrecher selbst einige Forts angelegt werden müfsten, aber die Marine-Offiziere erklärten dieses für unmöglich, weil die Wellen hier jede Anlage solcher Art zerstören würden. Dieses Bedenken war Veranlassung, dafs ein zweiter Damm vom Fort Querqueville aus projectirt wurde, der sich dem westlichen Ende des Wellenbrechers bis auf 300 Ruthen nähern und mit einem Fort versehn werden sollte. Die Erbauung des letztern würde aber, wie man meinte, weniger Schwierigkeiten bieten, insofern die Wassertiefe daselbst bedeutend geringer sei.

Diese Ansichten wurden Seitens der Regierung gebilligt, doch konnte denselben wegen der nunmehr ausbrechenden politischen Stürme nicht weiter Folge gegeben werden. Die Arbeiten bei Cherbourg blieben während voller zehn Jahre unterbrochen, bis am Schluss des Jahrs 1802 ihre schleunige Fortsetzung angeordnet wurde. Es handelte sich indessen damals weniger darum, die Rhede gegen Wellenschlag, als vielmehr gegen feindliche Angriffe zu sichern. Es sollte demnach der mittlere Theil des Damms

auf 100 Toisen (nahe 52 Ruthen) Länge bis auf 9 Fuſs über die höchsten Fluthen erhöht werden, um daselbst eine Batterie aufzustellen. Für die beiden Endpunkte des Damms wurden ähnliche Anlagen in Aussicht genommen, die jedoch zunächst noch unterblieben, während die Arbeiten auf dem mittlern Theil in zwei Jahren beendigt sein sollten.

Sehr wichtig sind die Beobachtungen, die man in dieser Zeit über die Ablagerung der Steinschüttungen machte. Letztere waren seit dem Jahr 1784 ziemlich unregelmäſsig, jedoch in solcher Höhe aufgebracht, daſs sie sich bis über das Niedrigwasser zur Zeit der todten Fluthen erhoben. 1802 war dieses aber nicht mehr der Fall, die Krone hatte sich vielmehr im Allgemeinen etwa um 15 Fuſs gesenkt. Fig. 109 zeigt in der Umgrenzung *DEFG* das Profil, welches bei allen Messungen sich ungefähr wiederholte. Die Böschung auf der innern, oder auf der der Rhede zugekehrten Seite war 45 Grade gegen den Horizont geneigt, dagegen hatte die seeseitige Dossirung in ihrem obern Theile die Anlage von 1 zu 7,69 und im untern Theile von 1 zu 1,43 angenommen. Es litt auch keinen Zweifel, daſs die innere, sehr steile Böschung durch das Herüberfallen derjenigen Steine entstanden war, die früher die Krone gebildet hatten. Auſserdem überzeugte sich die Commission davon, daſs keine andre Bewegung der Steine eintreten könne, als diejenige, welche der Stoſs der Wellen ihnen mittheilt, und daſs in Folge dessen die Steine ansteigen und den innern Rand der Krone erreichen, von dem sie herabstürzen und eine so steile Ablagerung bilden, wie solche in stehendem Wasser sich nur erhalten kann.

Die Vervollständigung des Dammes, die allein zu militärischen Zwecken dienen sollte, war von einer Militär-Behörde angeordnet, und dieselbe hatte zugleich bestimmt, daſs nur Ingenieur-Offiziere den Bau ausführen sollten. Der Offizier, dem dieser Auftrag ertheilt war, lehnte denselben jedoch ab, weil der Wasser-Transport und die Verschüttung der groſsen Steinmassen mit sonstigen Festungs-Bauten nichts gemein habe, und daher nur von solchen Männern mit Erfolg angeordnet und beaufsichtigt werden könne, welche mit Arbeiten an der See näher bekannt und darin geübt wären. Die Regierung, und zwar vorzugsweise der erste Consul oder der spätere Kaiser, erkannte die Richtigkeit dieses Bedenkens

an, und indem Bonaparte zu Cachin volles Zutrauen gefafst hatte, so übertrug er diesem die Ausführung. Der Erfolg rechtfertigte vollständig die Wahl.

Die sämmtlichen Steinbrüche in der Nähe von Cherbourg wurden noch im Herbst desselben Jahrs wieder eröffnet, aber die Einrichtung von Zufuhrwegen nach dem Ufer, von Landebrücken zum Verladen der Steine, vor Allem aber die Beschaffung der nöthigen Fahrzeuge machte grofse Schwierigkeiten. Die vor einigen Jahren zu einer Landung in England bestimmten Kanonenböte wurden zunächst für die Steintransporte zur Disposition gestellt, doch ergab sich bald, dafs dieselben theils für diesen Zweck untauglich, theils aber auch bereits gar zu schadhaft geworden waren. Der Versuch, geeignete Handelsschiffe aufzukaufen, führte gleichfalls zu keinem befriedigenden Resultat, und so blieb endlich nur die Erbauung neuer Fahrzeuge übrig.

Am Schlufs des Jahrs 1803 war der mittlere Theil des Damms bis zum Niedrigwasser bei todten Fluthen erhöht worden, und nunmehr glaubte man die Verwendung schwererer Blöcke nicht mehr aussetzen zu dürfen, um ein ferneres Abwaschen der Krone zu verhindern. Es wurden demnach gröfsere Blöcke auf den innern Rand der Krone aufgebracht, und aus denselben die sehr steil profilirte Schüttung *ABC* gebildet. Die Steine, welche seewärts sich dagegen lehnten, durften, wie man voraussetzte, keine bedeutende Gröfse haben, und man zog von ihrer Beweglichkeit im Wellenschlage sogar den Vortheil, dafs man sie, wie es sich von den Fahrzeugen aus am bequemsten thun liefs, auf den äufsern Rand der Dossirung bei *MN* warf, von wo aus sie durch die Wellen heraufgetrieben und gegen die Schüttung der gröfsern Steine gelehnt wurden, so dafs endlich das Profil *DEABHIK* sich bildete.

Dieses Profil wurde mit schweren Steinen bedeckt, die bald bis auf 60 und 80 Cubikfufs sich vergröfserten, indem die Anstalten zu ihrem Transport sich nach und nach verbesserten und die dabei angestellten Arbeiter mehr Uebung gewannen. Am schwierigsten war die Ueberdeckung der Krone des Damms, weil die Schiffe hier nicht mehr darüber gebracht und aus denselben die Steine nicht mehr unmittelbar verstürzt werden konnten. Man half sich indessen mit verschiednen Hebe-Böcken und Krahnen,

um so viel wie möglich die kleinern Steine nicht der unmittelbaren Einwirkung der Wellen auszusetzen.

Diese Arbeiten wurden so beschleunigt, dafs schon im Jahr 1803 der mittlere Theil des Damms auf 100 Toisen Länge und 10 Toisen Breite bis auf 9 Fufs über Aequinoctial-Springfluthen erhöht war. Im August desselben Jahrs wurden auch bereits sechs Geschütze darauf aufgestellt. Im December stürzte jedoch die seeseitige Schutzmauer ein, die ohne Mörtel aufgeführt war. Die Schüttung an sich erlitt dabei keine Beschädigung und die 60 Mann„ die hier nothdürftig casernirt waren, kamen dabei in keine Gefahr.

In den nächsten Jahren wurde diese kleine Insel unter Anwendung sehr grofser Steinblöcke, deren Fugen mit zähem Thon verstrichen waren, noch weiter ausgedehnt und erhöht und so sehr gegen die Angriffe der See gesichert, dafs man in dieser Beziehung jede Gefahr beseitigt glaubte. Die Stürme im Februar und Mai des Jahrs 1807 veranlafsten indessen einige sehr bedenkliche Beschädigungen, die zwar bald wiederhergestellt wurden, jedoch erkennen liefsen, dafs selbst die gröfsten Blöcke einzeln dem Stofs der Wellen nicht widerstehn könnten. Man schmeichelte sich jedoch mit der Hoffnung, dafs der Wellenschlag diese mit der Zeit so gegen einander lehnen und der ganzen Steinmasse solche Dossirung geben werde, dafs fernere Bewegungen aufhören müfsten.

Der sehr heftige Nordwest-Sturm am 12. Februar 1808 zeigte indessen, dafs eine solche Sicherheit noch lange nicht erreicht sei. Die seeseitige Dossirung mit den Brustmauern wurde zerstört, eben so die hölzernen Gebäude, die hinter derselben standen. Die Besatzung, aus einigen hundert Mann bestehend, fand grofsentheils ihren Tod in den Wellen, und nur die Wenigen wurden gerettet, die in den gemauerten Cisternen und Latrinen Schutz gesucht hatten. Das ganze Werk zeigte darauf dasselbe Bild, welches ein Bergsturz bietet. Grofse Steinblöcke, von der seeseitigen Dossirung gelöst, überdeckten die Krone, von der alle künstlichen Anlagen beseitigt waren, mit alleiniger Ausnahme derjenigen, die ein in sich verbundenes festes Mauerwerk darstellten. Indem man die Position nicht aufgeben wollte, so begnügte man sich vorläufig damit, eine solide Brustmauer an der Seeseite auf-

zuführen und gegen diese die sehr flache Böschung *AB*, Fig. 110, aus grofsen und sorgfältig versetzten Steinblöcken zu lehnen, dagegen die hier anschliefsende Böschung *BCDEF* ganz unverändert zu lassen, weil diese, wie sich aus der Vergleichung mit frühern Profilmessungen ergab, während des heftigen Sturms keine Veränderung erlitten hatte. Das kleine massive Gebäude im Schutz der Brustmauer diente zur Aufnahme der 60 Mann, die nunmehr allein die Besatzung dieses provisorischen Forts bilden sollten. Diese Anlage hielt sich auch unversehrt, bis nach einigen Jahrzehnden endlich die wesentlich veränderten Constructionen zur Ausführung kamen, von denen im Folgenden die Rede sein wird.

Dieselbe Figur zeigt auf der Binnen-Seite noch die Anfänge eines spätern Baues, der unter dem 7. Juli 1811 vom Kaiser beschlossen und gleich darauf auch begonnen wurde. Es sollten nämlich für einen elliptischen Thurm von 35 Toisen Länge und 19 Toisen Breite die Fundamente, aus grofsen und regelmäfsig versetzten Steinen bestehend, im Niveau der niedrigsten Ebben dargestellt werden. Man überdeckte diese mit mehreren Lagen starker Schieferplatten, und darüber wurde ein 28 Fufs hoher massiver Mauerkörper gestellt, der das thurmartige Fort tragen sollte. Um spätere Senkungen zu verhindern, überpackte man dasselbe noch einige funfzig Fufs hoch mit trocknen Steinen, belastete es also viel stärker als dieses später durch den Thurm geschah. Die Weiterführung des Werks unterblieb wegen der bald darauf eintretenden wichtigen politischen Ereignisse. In diesem Zustande sah ich noch im Anfange des Jahres 1823 den Wellenbrecher. Bei niedrigem Wasser trat er in seiner ganzen Länge vor, während die Steinpackung in der Mitte schon in weiter Entfernung hinter Cherbourg sichtbar war, und bei allen Wasserständen wie eine kleine hohe Insel erschien.

Während der ganzen Zeit, dafs das Werk sich selbst überlassen blieb, konnte man bei verschiednen Nachmessungen keine Veränderung der Profile bemerken, und dafs ein gewisser Beharrungsstand desselben eingetreten sei, liefs sich schon seit dem Jahre 1808 aus dem Umstande schliefsen, dafs die Profile, die damals gemessen wurden, in den wesentlichsten Punkten übereinstimmten, wiewohl die Steinschüttungen in ganz verschiedner Form dargestellt waren. Cachin theilt die Resultate dreier

Profil-Messungen mit, die theils in der Mittellinie und theils auf beiden Seiten des erhöhten Theils, wie er sagt, mit der gröſsten Sorgfalt gemacht und im Jahr 1816 nochmals wiederholt, und im Allgemeinen bestätigt gefunden wurden. Die dabei gewählten Grenzen, die in nachstehender Tabelle durch „höchstes und niedrigstes Wasser" bezeichnet sind, beziehn sich auf die Aequinoctial-Springfluthen,*) und die absoluten Maaſse sind in Metern ausgedrückt.

Böschungen des Cherbourger Damms auf der Seeseite.

	Profil.	horizontaler Abstand.	vertikaler Abstand.	Anlage.
I. Ueber dem höchsten Wasser . .	1	10,00	5,69	1,76
	2	8,00	3,71	2,16
	3	8,60	5,20	1,65
durchschnittlich . .	—	—	—	1,86
II. Zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasser	1	38,20	6,90	5,54
	2	37,00	7,14	5,18
	3	39,00	7,06	5,52
durchschnittlich . .	—	—	—	5,41
III. Zwischen dem niedrigsten Wasser und 5 Meter (16 Fuſs) darunter .	1	15,70	5,40	2,91
	2	15,00	5,10	2,94
	3	15,80	4,90	3,22
durchschnittlich . .	—	—	—	3,02
IV. Weiter abwärts bis zum Grunde .	1	10,00	7,80	1,28
	2	12,00	8,00	1,50
	3	8,50	8,50	1,00
durchschnittlich . .	—	—	—	1,26

Die Uebereinstimmung der Böschungen in diesen Profilen ist für die mit II und III bezeichneten Abtheilungen in der That überraschend, und deutet mit groſser Sicherheit darauf hin, daſs dieselbe Ursache in allen drei Fällen wirksam gewesen. Gröſsere

*) Wenn der Fluthwechsel in diesen Mittheilungen verschiedentlich angegeben ist, so rührt dieses davon her, daſs man ihn in früherer Zeit weniger scharf bestimmt hatte.

Verschiedenheiten zeigen sich dagegen in den beiden andern Abtheilungen.

Es könnte befremden, dafs die verticalen Abstände zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wasser in den drei Profilen nicht genau übereinstimmen, da bei der geringen Entfernung derselben von einander doch unmöglich in dieser Beziehung eine auffallende Verschiedenheit stattfinden kann. Noch mehr dürfte es befremden, dafs auch in der III. Abtheilung, die durch bestimmte Maafse in der Höhe begrenzt wird, gleichfalls Abweichungen vorkommen. Cachin erklärt nicht diese Anomalien, ein Irrthum ist indessen keineswegs anzunehmen, vielmehr mufs man die Ursache hiervon in der unregelmäfsigen Gestaltung der Oberfläche suchen, die bei der Gröfse der einzelnen Blöcke sich nicht vollständig ausebnen konnte. Es sind daher wahrscheinlich einzelne Steine ausgesucht, welche die allgemeine Form des Profils am besten bezeichneten, und diese trafen nicht immer in denselben Horizont.

Die II. Abtheilung, zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wasser, ist nahe übereinstimmend in allen drei Profilen im Verhältniss von 1 : 5,41 oder um $10\frac{1}{2}$ Grade gegen den Horizont geneigt. Dieses ist die Strecke, welche bei sandigen Ufern dem eigentlichen Strande entspricht, wo die auflaufenden Wellen und die zurückfliefsenden Wassermassen die in der Oberfläche befindlichen Körper hin- und hertreiben. Wenn die Neigung hier bedeutend steiler, als gewöhnlich ist, so erklärt sich dieses aus der Gröfse der Steine, weil bei gleicher Stärke der Wellen der Strand um so steiler wird, je gröber das Material ist.

Von diesem eigentlichen Strande werden durch die Wellen die einzelnen Körner, also hier die grofsen Steine, theils heraufgeschoben, theils aber auch herabgezogen, sie sammeln sich also, soweit sie die letzte Bewegung angenommen haben, zunächst weiter abwärts an. Sie sind hier aber keineswegs allein der Wirkung der Schwere überlassen, vielmehr werden sie noch von der Wellenbewegung getroffen, sie können sich daher, wenn sie auch zur Ruhe gelangen, nur in einer flachen Ablagerung erhalten. Dieses geschieht eben so auch in der III. Abtheilung, die indessen passend wohl nicht durch einen Horizont in bestimmter Tiefe, vielmehr durch die zufällige Höhenlage des Fufses dieser Ablagerung

begrenzt wird. Unterhalb dieser Grenze, oder in der IV. Abtheilung, hört die Wirkung der Wellen auf, die Ablagerung bleibt also unverändert in derselben Form, wie sie durch äufsere Umstände oder durch die künstliche Anschüttung ursprünglich entstanden war. Ganz anders verhält es sich mit der I. Abtheilung, die den Theil des Profils über dem höchsten Wasserstande umfafst. Es treten hier bei der verschiednen Stärke der Wellen wahrscheinlich die gröfsten Aenderungen ein. Häufig, und wohl in den meisten Fällen, werden Steine von der äufsern Böschung hierher getrieben, während bei besonders hohem Seegange diese ganze Abtheilung sich in einen flachen Strand verwandelt. Die Verschiedenheiten, welche die drei Profile in der I. und IV. Abtheilung zeigen, dürfen daher nicht befremden.

Aus dieser Vergleichung der gemessenen Profile mit der sonstigen Wirkung der Wellen ergiebt sich augenscheinlich, dafs, wenn die Formen sich auch übereinstimmend darstellen und sich dauernd erhalten, dennoch die Ablagerungen keineswegs unverändert bleiben. In gleicher Weise, wie der Meeresstrand, der dem vollen Andrange der Wogen ausgesetzt ist, im Allgemeinen zurückweicht, ohne in auffallender Weise seine Form zu verändern, so geschah wohl dasselbe mit diesem Damm. Sein Verhalten war demjenigen einer wandernden Düne nicht unähnlich. Wie bei letzterer der Wind, so setzten hier die Wellen die einzelnen Steine der seeseitigen Dossirung in Bewegung, trieben sie bis zur Krone und über diese fort, so dafs sie auf der innern Böschung niederstürzten. Schon Cachin besorgte solche Bewegungen und überdeckte daher den innern Rand der Krone mit besonders grofsen Steinen. Dafs aber in dieser Weise der Damm sich wirklich bewegt hat, ergiebt sich unverkennbar aus den spätern Messungen, wovon im Folgenden die Rede sein wird. Die Ansicht, als ob durch die Wahl desjenigen Profils, welches sich hier gebildet hatte, der aus losen Steinen bestehende Damm der Einwirkung der Wellen entzogen und gesichert werden könne, war daher keineswegs richtig, wie sich dieses auch aus den Erscheinungen an unsern Hafendämmen ergiebt.

Dafs die Erbauung dieses Wellenbrechers die allgemeinste Aufmerksamkeit erregte, bedarf kaum der Erwähnung. Das Werk war theils an sich so grofsartig, wie bisher noch kein

ähnliches existirte, theils aber hatte man auch noch nie versucht, eine so ausgedehnte Rhede zu schützen. Woltman, der spätere Wasserbaudirector in Hamburg, reiste nach Cherbourg und beobachtete die Versenkung eines Kegels. Auch Cachin erwähnt, dafs bei der Zusammensetzung und Versenkung der Kegel Englische Ingenieure sehr aufmerksame Zuschauer gewesen, und dafs dieselben beabsichtigt hätten, ähnliche Anlagen in England zur Ausführung zu bringen. Diese Mittheilung wird durch John Rennie bestätigt, doch darf man wohl annehmen, dafs die gewählte Construction nur sehr kurze Zeit hindurch zur Nachahmung verleiten konnte, weil ihre Unbrauchbarkeit schon nach wenig Jahren sich überzeugend herausstellte. Als jedoch seit dem Jahr 1802 die Steinschüttungen erhöht wurden, und zwei Jahre darauf der mittlere Theil des Damms als weit sichtbare Insel über die höchsten Fluthen heraustrat, so erweckte dieses kein geringes Erstaunen bei den Englischen Schiffern. Noch mehr war dieses aber der Fall, als endlich die Ueberzeugung Eingang fand, dafs der Wellenschlag wirklich wesentlich durch diesen Damm gemäfsigt werde, und die Schiffe ziemlich sicher dahinter liegen.

Es dürfte hier die passendste Stelle sein, einer ähnlichen, gleichfalls sehr grofsartigen Anlage zu erwähnen, die eine Nachbildung des Cherbourger Damms, und zwar in seinem damaligen Zustande war.

Im Jahr 1811 beschlofs die Englische Regierung, die Bucht bei Plymouth gegen Wellenschlag zu sichern. Unter den verschiednen Projecten, die zu diesem Zweck entworfen wurden, befand sich auch eins, vom General Bentham vorgelegt, wonach die Rhede durch eine Reihe von kreisförmigen, hohlen steinernen Thürmen abgeschlossen werden sollte.*) Dieses war augenscheinlich eine Nachahmung der von de Cessart anfangs verfolgten Absicht. Der Vorschlag fand indessen keinen Beifall, dagegen wurde das Project von John Rennie, dem ältern, Seitens der Regierung gebilligt und 1812 die Ausführung desselben begonnen. Nach diesem bestand der mittlere gerade Theil des Wellenbrechers

*) Diese, wie die folgenden Mittheilungen sind aus dem Werke des jüngeren John Rennie; an account of the Breackwater in Plymouth Sound, London 1848, entnommen.

aus einem 1000 Yard, oder $242^3/_4$ Ruthen langen Damm, an welchen sich auf beiden Seiten unter Winkeln von 120 Graden Flügel anschlossen von je 450 Yard oder $109^1/_4$ Ruthen Länge. Der Damm erhielt sonach die ganze Länge von $461^1/_4$ Ruthen, und zwar traten die beiden Flügel nach der Rhede zurück, so dafs die Schiffe im Schutz dieses Damms um so sicherer lagen. Die Einfahrt auf der östlichen Seite behielt beim niedrigsten Wasser die Tiefe von 6 Faden, und diejenige auf der westlichen Seite von 7 bis 8 Faden. Der Damm sollte ferner nur bis zur halben Fluthhöhe heraufgeführt werden. Dieses entsprach wieder den ersten Erfahrungen, die man an dem Cherbourger Damm gemacht hatte. Die Kronenbreite war zu 50 Fufs angenommen, die seeseitige Böschung sollte $4^1/_2$ fache und die binnenseitige 3 fache Anlage erhalten.

In gleicher Weise, wie bei dem Cherbourger Damm sehr bald die Nothwendigkeit sich herausstellte, eine gröfsere Kronenhöhe zu wählen, so geschah dieses auch hier. Schon 1814 wurde daher bestimmt, dafs die Krone 2 Fufs über den höchsten Springfluthen liegen solle, die Breite derselben wurde dabei jedoch auf 45 Fufs ermäfsigt. Nach dem Sturm 1824, wobei das Profil des Damms sich wesentlich veränderte, und genau dieselben Erscheinungen, wie bei dem Cherbourger Damm eintraten, indem die Steine von der seeseitigen Böschung über die Krone fortflogen und durch ihre Ablagerung auf der innern Böschung diese bedeutend steiler darstellten, wurde wieder bestimmt, dafs jene Böschung 5 fache, diese aber nur 2 fache Anlage erhalten sollte. Aufserdem wurden die äufsern Flächen mit besonders grofsen Steinen bedeckt, und soweit es möglich war, aus diesen ein ziemlich regelmäfsiges Pflaster gebildet.

Aus den mehrfach von dem Parlament veranlafsten Untersuchungen über die passendste Einrichtung der Sicherheits-Häfen ergiebt sich, dafs der Wellenbrecher bei Plymouth auch nach Ausführung der erwähnten Verstärkungen keineswegs dem Andrange der Wellen widerstanden hat. Nach der im Jahre 1859 von der betreffenden Commission vorgelegten Profizeichnung *)

---

*) Report of the Commissioners appointed to complete the inquiry on harbours of refuge. Vol. I. London 1859.

hatte der Damm inzwischen die in Fig. 111 dargestellte Form angenommen. Die seeseitige Dossirung hatte sich also sehr übereinstimmend mit der des Cherbourger Damms gestaltet. Man war aber gezwungen gewesen, jene grofsen Blöcke, so weit sie zu Zeiten über Wasser traten, in Cement und zum Theil sogar in zwei Lagen über einander zu versetzen.

Als der Wellenbrecher bei Plymouth theilweise beendigt war, wurde er wieder das Vorbild für die Hafendämme bei Swinemünde. Die Anordnung derselben beruht also auf den Erfahrungen und Ansichten, zu welchen der Cherbourger Damm im Anfange dieses Jahrhunderts geführt hatte. Diese Ansichten haben sich auch bei uns lange erhalten, obwohl die Erfahrungen in unsern Häfen fortwährend zeigten, dafs es unmöglich ist, aus losen Steinen, wenn sie auch bedeutende Gröfse haben, einen Damm darzustellen, der dem Wellenschlage sicher widersteht.

Bei den Swinemünder und demnächst auch bei allen übrigen Preufsischen Hafendämmen ist man aber von der Constructionsart des Cherbourger und Plymouther Wellenbrechers in sofern abgewichen, als man die Kerne dieser Dämme aus Senkstücken darstellte. Veranlassung zu dieser Aenderung war ohne Zweifel der hohe Preis der Steine, es trat dabei jedoch der grofse Uebelstand ein, dafs viele Jahrzehnte hindurch ein fortwährendes Sacken bemerkt wurde, das immer neue Ausbesserungen und Aufhöhungen der Krone nothwendig machte. Wenn man aber schliefslich diese wiederholten Aufhöhungen berücksichtigt, so ergiebt sich eine so starke Compression der Senkstücke, dafs dieselben wahrscheinlich mit wenig Mehrkosten durch Steinschüttungen hätten ersetzt werden können.

§ 36.

Spätere Bauten bei Cherbourg.

Nachdem die ersten Vorbereitungen zur Erbauung des Central-Forts auf dem Wellenbrecher bei Cherbourg getroffen waren, ruhten die Arbeiten eine lange Reihe von Jahren hindurch, doch ereigneten sich auch während dieser Zeit manche Umstände, die

Erwähnung verdienen. Die Stürme verursachten wiederholentlich bedeutende Beschädigungen, und wenn auch die Profile sich im Allgemeinen erhielten, so wurden doch fortwährend in der ganzen Ausdehnung des Damms die Steine von der seeseitigen auf die Binnen-Dossirung herübergeworfen. Auch die Brustmauer vor dem Steinhaufen, der zur Compression des Untergrundes aufgebracht war, litt wiederholentlich sehr bedeutend, woher man sich 1824 entschlofs, dieselbe nicht mehr in losen Steinen, sondern in Cementmörtel auszuführen. Seit dieser Zeit wurde sie nicht mehr von den Wellen durchbrochen, sie erhielt aber auf der Seeseite einen sehr kräftigen Schutz gegen die von den Wellen aufgeworfenen Steine, indem diese vor ihr liegen blieben, und eine geschlossene und feste Lage annahmen. Es gab sich überhaupt zu erkennen, dafs die losen und besonders die grofsen Steine nur auf wenig geneigten Flächen ein Spiel der Wellen waren, dagegen von den letztern nicht mehr bewegt wurden, sobald sie in einer steilen Böschung auf einander ruhten. Die steile Böschung zeigte daher viel gröfsere Haltbarkeit, als die flache.

Im Jahr 1828 kam der Marine-Minister nach Cherbourg und untersuchte nicht nur die Arbeiten des bereits seit geraumer Zeit begonnenen Kriegs-Hafens, sondern auch den Wellenbrecher. Die Erhöhung des letztern wurde nunmehr für dringend nöthig erkannt, und daher eine genaue Prüfung seines gegenwärtigen Zustandes angeordnet.

Die im Jahre 1829 angestellten Profilmessungen ergaben Resultate, die von den frühern wesentlich verschieden waren. In beiden Flügeln hatte sich die Krone der Steinschüttung um 6 bis 10 Fufs gesenkt, so dafs sie mit Ausnahme des mittlern Theils wieder unter dem niedrigsten Wasser blieb. Der obere Theil der seeseitigen Böschung, der in der frühern Zusammenstellung der II. und III. Abtheilung entspricht, hatte eine sehr flache Neigung, nämlich eine 12fache Anlage angenommen, und in der Tiefe von 5 Meter unter dem niedrigsten Wasser, also auf der Grenze zwischen der III. und IV. Abtheilung, gab sich keine markirte Kante mehr zu erkennen, vielmehr setzte sich jene Böschung noch weiter abwärts und zuweilen bis zum Meeresgrunde fort.

In den beiden nächsten Jahren wurden nunmehr die Schüttungen mit kleinen Steinen wieder fortgesetzt, um zunächst

den östlichen Flügel, der zuerst beendigt werden sollte, bis über das niedrige Wasser heraufzuführen.

Schon 1829 hatte der damalige Hafen-Ingenieur Fouques-Duparc das Project zum fernern Ausbau des Wellenbrechers vorgelegt. Dasselbe kam anfangs nur theilweise zur Ausführung, doch später wurden auch diejenigen Constructionen wieder angenommen und nachträglich eingeführt, welche die Behörde bei der ersten Prüfung des Projects nicht gebilligt hatte. Duparc, den ich bereits 1823 in Cherbourg fand, und der ohne Zweifel einer der tüchtigsten Hafen-Ingenieure war, hatte durch sorgfältige Beobachtung der Erscheinungen und durch überlegte Zusammenstellung derselben sich ein klares Urtheil über die Mittel gebildet, durch welche man den Angriff der Wellen unschädlich machen und ihren zerstörenden Wirkungen ein Ziel setzen kann. Seine Ansichten haben gegenwärtig bei allen Hafen-Ingenieuren in Frankreich und bei den meisten und den bedeutendsten auch in England Eingang gefunden, und so ist Fouques-Duparc der eigentliche Erfinder des neuen Hafenbaues, wie solcher sowol in England, als in Frankreich und bei uns, zum Theil in kolossalen Anlagen nunmehr ins Leben getreten ist, und nach den bisherigen Erfahrungen sich vollständig bewährt hat.

Dieses Project beruht wesentlich darauf, dafs dem Angriff des Meers nur eine in sich fest verbundene und möglichst gleichmäfsige Masse ausgesetzt werden darf, wobei also weder einzelne Theile sich leicht lösen, noch auch sehr verschiedenartige Senkungen eintreten können. Diese Auffassung ist durchaus verschieden von der bisher bei demselben Bau verfolgten, wonach man von den einzelnen Steinen, welche der Wellenschlag in den passenden Profilen ablagern sollte, sich die gröfste Widerstandsfähigkeit versprochen hatte. Alle Erfahrungen an diesem Wellenbrecher, wie auch wohl sonst in allen Fällen, hatten bereits die Unhaltbarkeit dieser Ansicht augenfällig dargethan. Dagegen hatte der fest verbundene Mauerkörper, der das elliptische Central-Fort tragen sollte, der vom niedrigsten bis zum höchsten Wasser heraufreichte, und 1811 bis 1812 dargestellt war, sich unbeschädigt erhalten. Ebenso hatte die Brustmauer der äufsern Batterie, 1824 und 1825 erbaut, obwohl sie nicht unter das höchste Wasser herabreichte und nur aus kleinen Steinen bestand, keine Be-

schädigungen erfahren. Besonders auffallend war es aber schon bei der Zerstörung des ersten Forts im Jahre 1808 gewesen, dafs die wenigen gemauerten Theile sich unversehrt erhalten hatten. Auch andre Beispiele zeigten in der nächsten Umgebung von Cherbourg, dafs grofse, wie kleine Steine, wenn sie in Mörtel versetzt und mit vollen Fugen vermauert waren, durch den Wellenschlag nicht leiden. Dieses bestätigte sich an den Dämmen vor dem Handelshafen, an der Strafse, die nach dem Fort Homet führte, an dem Fort auf der Insel Pelée und an der östlichen Mauer vor dem Arsenal.

Duparc verglich die Kosten einer solchen Mauer mit denjenigen, die Cachin in Betreff der gleich hohen Steinschüttung berechnet hatte, und es ergab sich, dafs Beide sich beinahe gleich waren. Wenn dagegen diejenigen Kosten dem Vergleich zum Grunde gelegt wurden, welche die Erhöhung des mittleren Theils wirklich verursacht hatte, so stellte sich zu Gunsten der Mauer eine Ersparung von 13 Millionen Francs heraus. Die Kosten der Unterhaltung waren auch, selbst wenn man vielfache Beschädigungen voraussetzte, dennoch bei der Mauer viel niedriger, insofern die Erfahrung gezeigt hatte, wie sehr die Steinschüttungen beim Wellenschlage dauernd litten, und von Zeit zu Zeit immer neue und sehr bedeutende Ueberhöhungen nothwendig machten.

Der Verfasser dieses Projects gab zu, dafs man auch durch Ueberdeckung mit einzelnen Blöcken die Steinschüttung sichern könne, solche müfsten aber so massenhaft sein, wie man sie unmöglich aus den Steinbrüchen abfahren und auf den Damm bringen könne. Es würde also nichts übrig bleiben, als an Ort und Stelle solche künstliche Blöcke zu bilden, die 12 bis 15 Cubikmeter (388 bis 484 Rheinländische Cubikfufs) halten müfsten.

Jedenfalls sei es aber vortheilhafter, statt dieser isolirten Blöcke, lieber eine einzige und zusammenhängende Mauermasse darzustellen, die sich vom Niveau des niedrigsten Wassers bis über die höchsten Fluthen erhebt, und eine angemefsne Stärke hat. Sehr überzeugend wies er nach, dafs dieses Project auch andern Vorschlägen vorzuziehn sei, welche einen Mittelweg zwischen der früher befolgten und der von ihm vorgeschlagnen Methode bildeten, und sich theils auf eine senkrechte trockne Mauer von noch gröfserer Stärke, theils aber auf zwei schwächere in Mörtel

ausgeführte Mauern bezogen, zwischen denen der freie Raum mit kleinen Steinen ausgefüllt werden sollte.

Die Mauer, welche Duparc vorschlug, sollte möglichst tief, also im Niveau des niedrigsten Wassers fundirt werden, und zwar hier auf einer Béton-Schüttung von $2\frac{1}{2}$ Fufs Stärke ruhn. Sie sollte aus Bruchsteinen in Mörtel 25 Fufs hoch aufgemauert, auf der Seite nach der See mit Granitquadern und auf der Seite nach der Rhede mit behauenen Sandsteinen verblendet werden. Eine Brustmauer, $5\frac{1}{4}$ Fufs hoch und 8 Fufs stark, müsse auf der Seeseite darauf gestellt werden. Die Breite der Mauer war unten zu $35\frac{1}{2}$ Fufs und oben, wo der Verbindungs-Weg darüber führt, zu 29 Fufs Rheinländisch angenommen. Auf der Seeseite war die Mauer gegen das Loth im Verhältnisse von 1 zu 20, auf der Seite nach der Rhede dagegen von 1 zu 5 geböscht.

Die Mauer sollte sich ferner binnenwärts gegen eine Risberme von Sandsteinen, die 16 Fufs breit war, lehnen, und seewärts sollten zur Verhinderung von Ausspülungen die allergröfsten natürlichen Steinblöcke vorgeworfen werden, jedoch nicht höher als $6\frac{1}{2}$ Fufs über Null des Pegels, oder über den allerniedrigsten Wasserstand, weil Duparc bemerkt hatte, dafs in gröfserer Höhe die Steine leichter von den Wellen gehoben und umher geworfen wurden. Derselbe erwähnt dabei, dafs es ganz überflüssig sei, eine solche Mauer durch vorgeschüttete Steine schützen zu wollen, weil dieselbe an sich die nöthige Stärke hat, und eines solchen Schutzes nicht bedarf, wenn Unterspülung nicht zu besorgen ist.

Duparc nahm an, der stärkste Stofs der Wellen sei einem Druck von 3000 bis 4000 Kilogramm auf den Quadratmeter oder in unserm Maafs 600 bis 800 Pfund auf den Quadratfufs gleich, der Sicherheit wegen gab er indessen der Mauer solche Dicke, dafs sie noch dem Vierfachen dieses Stofses widerstehn konnte. Nach den obigen Mittheilungen (§ 6) über die beobachteten Wirkungen der Wellen wäre selbst die letzte Annahme noch nicht genügend, wenn die Mauer ihrer Länge nach sich trennen und ein einzelner Theil derselben durch die benachbarten nicht gehalten würde. Da jedoch dieser übermäfsige Stofs niemals gleichzeitig die ganze Mauer, sondern immer nur einzelne Theile derselben trifft, so verhindert der Längenverband das Ausweichen der letztern, sobald sie solchem Druck ausgesetzt werden. Die

Die in dieser Weise ausgeführte Mauer hat in der That von dem Stofs der Wellen nicht gelitten. Die Querrisse, die sie zeigt, rühren vom ungleichen Setzen der darunter befindlichen Steinschüttung her.

Die Commission, der dieses Project zur Prüfung vorgelegt wurde, erklärte sich in Betreff der Mauer einverstanden, nur besorgte sie, dafs auf der Seeseite leicht Vertiefungen sich bilden könnten, welche die Sicherheit bedrohn würden. Sie hielt es daher für nothwendig, hier noch eine Risberme von 22 Fufs Breite anzulegen, die in einer Béton-Schicht besteht, jedoch wegen des zu erwartenden ungleichen Setzens nicht mit derjenigen Schicht zusammenhängt, worauf die Mauer steht. Schliefslich wurde noch angedeutet, dafs zur Sicherung der Mauer an den beiden Enden des Damms die Anwendung grofser künstlicher Steinblöcke nöthig sein werde.

Das Project wurde hiernach im April 1832 genehmigt, und in demselben Jahr begann der Bau auf dem östlichen Flügel des Damms. Duparc vermuthete, wie sich auch in der That später zeigte, ein sehr starkes Setzen auf der losen Steinschüttung, und hütete sich daher, die Mauer sogleich in ihrer ganzen Höhe aufzuführen. Es wurden vielmehr auf grofse Längen immer nur wenige Steinschichten versetzt, worüber erst nach längerer Zeit weiter gemauert wurde. Wie nöthig diese Vorsicht gewesen, ergab sich bald, indem vielfache Risse in dem fertigen Mauerwerk sich zeigten, und zwar nicht nur nach der Quere, sondern auch nach der Länge. Eben so bemerkte man auch zuweilen, dafs die Mauer nach einer oder der andern Seite etwas überwich. Vorzugsweise zeigten sich diese ungleichmäfsigen Senkungen an den Stellen, wo die Steinschüttung sich an die alten Kegel anschloss. Sie waren jedoch nirgend so erheblich, dafs man gezwungen gewesen wäre, einen Theil der Mauer aufzubrechen und neu aufzuführen. Es genügte vielmehr, die Fugen nur zu füllen und die nöthigen Ausgleichungen vorzunehmen, worauf die weitere Uebermaurung fortgesetzt werden konnte.

Wirkliche Beschädigungen zeigten sich nur in der seeseitigen Risberme. Das Wasser drang durch die Fugen der Steinschüttung unter die Bétonschicht, und da diese nicht belastet war, so wurde sie durch den Druck der anlaufenden Wellen gehoben und zer-

brochen. Noch mehr geschah dieses aber, wenn die Wellen grofse Steinblöcke darüber schleuderten. Alsdann löste die Schicht sich in einzelne kleinere Tafeln auf. Man liefs dieselben zunächst noch über den Steinen liegen, doch endlich kamen auch die letzteren in Bewegung und nunmehr hatten die kleinen Béton-Platten kein passendes Lager, sie wurden daher von den Wellen gehoben, und oft umgekehrt und weit umher geschleudert, so dafs sie in kurzer Zeit zerschellten und ganz verschwanden. Um die Mauer gegen Unterspülung zu sichern, wurden grofse künstliche Blöcke aus Béton neben der Mauer versetzt. Damit diese aber dem Untergrunde sich möglichst anschlossen, ohne dafs der frische Mörtel von den Wellen ausgespült und fortgewaschen würde, so gab man den Kasten, worin die Blöcke geformt wurden, einen Boden von Leinwand, der sich auf die darunter befindlichen Steine auflegte, sobald der Béton darauf geworfen wurde. Auf solche Weise erhielten diese Blöcke eine sehr feste Lage, und nur selten bemerkte man, dafs sie sich bewegten. Dieselben hatten indessen noch einen andern Zweck, nämlich die Baugrube, in welche das Bétonbette für die Mauer gelegt werden sollte, gegen das Eintreiben von Steinen zu sichern. Man stellte sie daher $1\frac{1}{2}$ Fufs vor den äufsern Rand der Mauer und zwar abwechselnd in der Richtung ihrer Länge und Breite, um Unebenheiten zu bilden, welche die grofsen natürlichen Decksteine aufhalten sollten, falls diese etwa längs der Mauer bewegt werden möchten. Die Bétonblöcke waren $9\frac{1}{2}$ Fufs lang, $6\frac{1}{3}$ Fufs breit und 3 Fufs hoch, hielten also nahe 200 Cubikfufs.

Obwohl die Stürme an dem eigentlichen Bau keine Beschädigungen verursachten, so zeigten sie doch Wirkungen, wie man solche bisher hier noch nicht wahrgenommen hatte. Von den grofsen Steinen, welche über die Mauer geschleudert wurden, ist schon früher (§ 6) die Rede gewesen, aber überraschend war es, als man sah, dafs bei Stürmen die Wellen beim Anschlagen an die nahe senkrechte Mauer sich in zusammenhängender Wassermasse 96 bis 127 Fufs hoch erhoben.

Bald nach dem Beginn des Baues wurde das Bedenken angeregt, dafs die Erhöhung des östlichen Flügels, während der westliche in seiner geringen Höhe noch gelassen wurde, leicht Veranlassung zur weitern Ausdehnung der Sandbank geben könne,

die sich von der Insel Pelée aus in die Rhede hineinzog. Es wurde daher die Forderung gestellt, dafs der westliche Flügel gleichzeitig in Angriff genommen werden solle. Duparc erklärte dieses für unthunlich, und indem er 1834 genaue Sondirungen wieder vornehmen liefs, so konnte er den Nachweis führen, dafs jene Bank, wenigstens in Betreff der Fünffaden-Linie seit dem Jahre 1789 sich nicht verändert hatte.

1838 starb Fouques-Duparc, und Reibell, der Herausgeber der Vorträge, die Sganzin über Wasserbaukunst gehalten hatte (dritte Ausgabe), war sein Nachfolger.

Der Bau des östlichen Flügels schritt regelmäfsig weiter, und eine Aenderung trat vorzugsweise insofern ein, als man bisher die Anwendung des Cements möglichst beschränkt hatte, um die Kosten nicht zu sehr zu steigern, während gegenwärtig, da die Preise sich bedeutend niedriger stellten, ein grofser Vortheil in dem ausgedehntern Gebrauch desselben gefunden wurde, da theils die Erhärtung schneller erfolgte, und theils auch spätere Beschädigungen weniger zu besorgen waren. Namentlich wurde darauf gesehn, dafs jeder Theil der Mauer, den man in einem Jahr abschlofs, sowol in der Oberfläche, als auch am Ende mit einer starken Bétonschicht abgedeckt und eingeschlossen wurde. Ob diese Vorsicht von Nutzen war, mufs dahin gestellt bleiben, da ich in andern Fällen vielfach bemerkt habe, dafs solche, wenige Zolle starken Béton-Platten sich leicht von den Steinen lösen und abbrechen. Wenn man dauerhafte Bruchsteine verwendet, so genügt es, die Stofsfugen gehörig zu füllen und festzustreichen.

Im Jahr 1839 war endlich der ganze östliche Flügel bis über das höchste Wasser herausgeführt, da jedoch die Sackungen noch keineswegs aufgehört hatten, so wurden die obern Schichten nebst der Brustmauer noch nicht aufgebracht, vielmehr wartete man hiermit, bis Bewegungen sich nicht mehr zeigen würden. Die Oberfläche wurde wieder mit einer Béton-Lage abgedeckt, in welche man flache Steine eindrückte. Es mufs bemerkt werden, dafs Beschädigungen in den nächsten Jahren keineswegs ausblieben, dafs vielmehr der Mörtel stellenweise stark angegriffen wurde, und besonders geschah dieses, wenn zufällig das aufspritzende Seewasser keinen vollständigen Abflufs fand und auf der Mauer verdunstete.

Man begann in demselben Jahr den Ausbau des westlichen Flügels, und zwar mufste zunächst die Richtung desselben bestimmt werden. Es ergab sich aus den bisherigen Erfahrungen, dafs die neuen Aufschüttungen einen ziemlich unsichern Untergrund bildeten, der unter dem Gewicht der darauf gestellten Mauer sich stark comprimirte, dafs aber auch die ältern Schüttungen, die man auf der Binnenseite, oder auf der südlichen, aufgebracht hatte, selbst nach längerer Zeit noch nachgaben, was auf der Nordseite nicht der Fall war. Die Steine, welche von den Wellen hier angetrieben und dem Stofs derselben ausgesetzt gewesen waren, hatten eine bedeutend festere Lage angenommen, und trugen sicherer die Mauer, als jene vor Kurzem aufgeschütteten Steine. Die Erscheinung ist also dieselbe, die sich auch auf den sogenannten Riffen vor einem sandigen Strande zu erkennen giebt. Die seeseitige Dossirung derselben ist so fest, dafs beim Darübergehn oder Fahren kaum eine Spur des Fufses oder Rades zurückbleibt, auf der innern Dossirung sinkt man dagegen einige Zolle tief ein und oft genug ist der Triebsand daselbst so tief ausgebildet, dafs Pferde darin stecken bleiben. Mit Rücksicht auf diesen Umstand wurde die Richtungslinie des westlichen Flügels so gewählt, dafs möglichst wenig Nachschüttungen auf der südlichen, oder der Binnenseite noch nöthig waren. Mit den erforderlichen Schüttungen, die also vorzugsweise auf der Seeseite erfolgten, wurde der Anfang gemacht, und demnächst in gleicher Weise, wie auf dem östlichen Flügel geschehn, der Bau der Mauer begonnen. Indem jedoch das Aufmauern der untern Schichten überaus zeitraubend war, weil es nur beim kleinsten Wasser erfolgen konnte, so hatte man in der letzten Zeit schon im östlichen Flügel die Aenderung eingeführt, dafs statt einer Bétonschicht, drei solche verlegt wurden, die bis zum mittlern Wasserstande heraufreichten, von denen die beiden obern jedoch in gleicher Weise, wie die Mauer mit Granitquadern eingefafst waren.

1842 wurde endlich die Mauer auf dem östlichen Flügel in ihrer ganzen Höhe ausgeführt und mit der Brustmauer versehn. Die Breite der Mauer bis zur Brüstung maafs $19\frac{1}{2}$ Fufs, und man liefs dieselbe von der Binnenseite bis zur Brüstung 5 Zoll ansteigen, damit das Wasser möglichst vollständig abfliefsen

konnte. Die Brustmauer dagegen erhielt bei 8 Fuſs Breite ein Quergefälle von 2 Zoll nach der Seeseite. Die Eindeckung erfolgte auf der Mauer selbst mit gut schlieſsenden Granitwürfeln, welche auf ein Bétonbette mit vollen Mörtelfugen versetzt waren, die Brüstung dagegen wurde mit Granitplatten überdeckt. Man stellte auch guſseiserne Schiffshalter, oder Kanonen, in die Mauer, die jedoch wegen der groſsen Höhe wohl nicht leicht gebraucht werden dürften.

Am Schluss des Jahrs 1842 hatte man die Fundirung des westlichen Flügels nahe 450 Ruthen weit ausgeführt, und groſsentheils auch die Uebermaurung begonnen, als im nächsten Winter eine nochmalige genaue Aufnahme der Steinschüttung auf der übrig bleibenden Strecke dieses Flügels für nöthig erachtet wurde, weil es den Anschein hatte, als ob die gewählte Richtung nicht in die Krone der letztern fiel. Es ergab sich in der That dabei eine auffallende Abweichung. Die Krone lag wirklich südwärts von der bisher verfolgten Richtung. Ein Irrthum in der vor drei Jahren ausgeführten Messung war undenkbar, und die jetzige Abweichung lieſs sich nur durch die Wirkung der Wellen erklären, die bei jedem Sturm sich deutlich zeigte, und darin bestand, daſs die Steine von der nördlichen Böschung über die Krone fort nach der südlichen geworfen wurden. Auf diese Weise bewegte sich also die ganze Schüttung und mit ihr die Krone, von Norden nach Süden.

Nachdem diese veränderte Lage des Damms bemerkt war, dachte man zunächst daran, neue Steinmassen auf die nördliche Böschung aufzubringen, da aber die Transporte der Bruchsteine bereits als beendigt angesehn und die dazu dienenden Fahrzeuge groſsentheils verbraucht waren, so würde die Wiederbeschaffung von solchen nicht nur sehr kostbar, sondern auch sehr zeitraubend gewesen sein, und man entschloſs sich daher, den letzten Theil des Damms in eine etwas veränderte Richtung zu legen. Hiernach wurde letztere um 1 Grad weiter südlich gewählt.

Ein andrer Umstand, der einiges Bedenken erregte, bezog sich auf die ältern Béton-Fundirungen. Man bemerkte nämlich, daſs diese auf der Seeseite sich nicht vollständig erhalten hatten, besonders wenn sie zufällig entblöſst waren. Der Béton war bis etwa 1 Fuſs weit unter der Mauer stark angegriffen und

zum Theil ausgewaschen. Obwohl diese Beschädigungen bei kleinem Wasser durch Einbringen von neuem und besser erhärtendem Béton sich leicht wiederherstellen liefsen, auch an sich nicht gefahrdrohend erschienen, so überzeugte man sich doch, dafs es zweckmäfsiger gewesen wäre, wenn man auch dieses Fundament in gleicher Weise, wie die darauf ruhenden folgenden Schichten mit Granitquadern eingefafst hätte.

Die in den letzten Jahren über die Bewegung der Steine gemachten Erfahrungen waren durchaus befriedigend. Wie sehr nämlich die losen Steine und selbst die gröfsten derselben in früherer Zeit hin und her geworfen, und sogar über die begonnene Mauer hinüber geschleudert waren, so hörte dieses vollständig auf, sobald die Mauer bis zur vollen Höhe aufgeführt und auf der Seeseite mit der Brustmauer versehn war. Die Steine sammelten sich nunmehr vor dem Fufs derselben an, und bildeten eine feste Ablagerung, die auch bei heftigem Wellenschlage nicht mehr in Bewegung gesetzt wurde. Dieses besagt die publicirte Beschreibung des Baues, spätere Erfahrungen scheinen jedoch hiermit in Widerspruch zu stehn. Der Aufseher, der mich 1857 längs der Mauer führte, zeigte mir verschiedne Beschädigungen der Granit-Blöcke, welche die Brustmauer bedeckten, und erwähnte, dafs diese von den darauf geworfenen Steinen herrührten. Er erzählte, dafs bei jedem heftigen Sturm noch grofse Bruchsteine über die bereits fertige Mauer geworfen würden, und dafs sogar einmal einer der künstlichen Blöcke auf der südlichen Böschung gelegen habe, der also nothwendig denselben Weg gemacht haben mufste.

1853 wurde der westliche Flügel beendigt. Die Erwartung, dafs keine weitern Senkungen eintreten würden, ging nicht vollständig in Erfüllung, es zeigten sich solche auch noch später und veranlafsten Quer-Risse, die $1/2$ auch wohl $3/4$ Zoll weit waren. Dabei trennten sich jedoch immer nur grofse Theile der Mauer, so dafs jeder einzelne derselben an sich schon hinreichende Widerstandsfähigkeit behielt, und keine Besorgnifs für das ganze Werk erweckt wurde.

Was die Kosten der Mauer betrifft, so betrugen diese für das laufende Meter 4500 Francs, also für den laufenden Fufs Rheinländischen Maafses $381 1/3$ Thaler.

Der Damm erfüllt nunmehr vollständig seinen Zweck, indem

selbst bei den heftigsten Stürmen die Schiffe hinter ihm ohne Gefahr ankern und sogar sehr ruhig liegen. Die Frage, wie viele Schiffe daselbst Schutz finden, wird verschieden beantwortet, aber ganz sicher sollen vierzig grofse Schiffe hier liegen können, ohne dafs ein Gegenstofsen derselben besorgt werden darf, besonders wenn ein Theil von ihnen Dampfschiffe sind, welche die freien Ankerstellen genau einnehmen.

Das Bedenken, dafs die Rhede nach und nach durch den hinzutreibenden Sand und Kies sich verflachen möchte, wird durch die bisherigen Erfahrungen nur in geringem Maafse bestätigt und die Verlandungen treten sehr langsam ein. Bonnin, aus dessen Beschreibung*) dieses Baues die vorstehenden Mittheilungen entnommen sind, macht hierbei die Bemerkung, dafs bei der gegenwärtigen Wirksamkeit der Dampfbagger und bei der grofsen Abstillung des Wassers auf der Rhede die nach und nach eintretenden Verflachungen alle Bedeutung verloren haben. Derselbe ist der Ansicht, dafs es sogar zweckmäfsiger gewesen wäre, die beiden Zugänge in höherem Maafse zu beschränken, um das Eindringen feindlicher Schiffe sicherer zu verhindern, wenn dadurch auch die Verflachung befördert worden wäre.

Schliefslich dürfte es angemessen sein, zur nähern Beschreibung der in Rede stehenden Mauer noch einige Erläuterungen über die Ausführung derselben hinzuzufügen. In der Profilzeichnung Fig. 112 ist die Steinschüttung, soweit sie schon früher aufgebracht war, durch die zusammenhängende Steinreihe markirt. Dieselbe lag meist auf der Seeseite so niedrig, dafs sie mit Steinen überschüttet werden mufste.

Zur Seite dieses Profils sind die verschiednen Wasserstände nach dem dortigen Pegel, und zwar im metrischen Maafs angegeben. Der Nullpunkt liegt in der Höhe des Niedrigwassers bei Aequinoctial-Springfluthen, das Hochwasser zur Zeit der letztern stellt sich auf 22,8 Fufs Rhl. Bei gewöhnlichen Springfluthen steigt das Wasser von 2,2 bis 20,0 Fufs und bei todten Fluthen von 7,80 bis 15,3 Fufs.

---

*) Travaux d'achèvement de la digue de Cherbourg par J. Bonnin. Paris 1857.

Eine Bétonschicht, die ein wenig seewärts geneigt ist, bildet das Fundament der Mauer. Vor derselben befindet sich ein Bétonblock, der an Ort und Stelle und zwar in einem Kasten mit Boden aus Leinwand gebildet ist. Gegen diesen lehnen sich grofse natürliche Steine. Auf der Binnenseite erhebt sich dagegen die aus Steinschüttung bestehende und mit regelmäfsigem Pflaster überdeckte Risberme bis zur Höhe der zweiten Bétonschicht. Die nächste Bétonschicht bildet einen Theil der Mauer und ist wie diese mit Granitquadern an beiden Seiten verblendet. Die untre Lage der letztern ruht indessen auf flachen besonders harten Steinen, welche einen niedrigen Sockel bilden und im Innern hintermauert sind.

Eine dritte Bétonschicht liegt endlich noch auf der zweiten, und mit dieser schliefst der Theil der Mauer, der im ersten Jahr aufgeführt wird. Dieses geschieht in der mit I I bezeichneten Linie. Im zweiten Jahr erreicht die Mauer die Höhe der Linie II II. In diesem Theil besteht der Kern in lagerhaften Bruchsteinen, die in möglichst gutem Verbande in gewöhnlichem hydraulischen Mörtel, zuweilen mit einem Zusatz von künstlicher Puzzolane vermauert werden. Sowol auf der innern, wie auf der äufsern Seite befindet sich eine Verblendung von Granitquadern. In gleicher Weise erfolgt im dritten Jahr die fernere Erhöhung bis III III, die jedoch nur wenige Fufse beträgt.

In diesem Zustande bleibt die Mauer einige Jahre hindurch stehn. Wenn man endlich kein weitres Setzen bemerkt, oder wenn die Beendigung nicht länger verschoben werden darf, so wird der obere Theil mit der Brustmauer und den Schiffshaltern, oder Kanonen, hinzugefügt. Die äufsere Kante der Brustmauer liegt 34 Fufs 8 Zoll über dem Nullpunkt des Pegels, und die innere Kante der Brustmauer 34 Fufs 10 Zoll. Der Weg auf der Mauer hat neben der Brüstung die Höhe von 29 Fufs 7 Zoll, und auf der Seite nach der Rhede von 29 Fufs 2 Zoll. Die Breite der Brustmauer mifst 8 Fufs, die des Weges ist jedoch auf den beiden Flügeln etwas verschieden, nämlich auf dem östlichen Flügel 19 Fufs 7 Zoll und auf dem westlichen 20 Fufs 3 Zoll. Ueber die Ausführung des Weges wäre nur zu bemerken, dafs er mit regelmäfsig bearbeiteten Granit-Blöcken gepflastert ist, die auf einer 1 Fufs starken Bétonlage ruhn. Sehr grofse Granitquadern über-

decken die äufsere Verblendung und sind durch kupferne Klammern mit einander verbunden.

Von den Festungswerken oder den kleinen Forts auf dem Wellenbrecher ist bisher wenig die Rede gewesen, in Betreff derselben ist nur zu erwähnen, auf welche Art sie gegen den Andrang der Wellen geschützt sind. Sie treten auf der Seeseite vor die beschriebne Mauer vor und bedürfen daher eines besondern Schutzes. Dieser ist ihnen dadurch gegeben, dafs sehr grofse künstliche Blöcke, nämlich von 20 Cubikmeter oder 647 Cubikfufs, auf die Stein-Böschung ziemlich nahe neben einander gelegt sind, und diese soweit bedecken, wie die Welle die natürlichen Steine noch in Bewegung setzt. Die Blöcke sind 12 Fufs 1 Zoll lang, 8 Fufs 7 Zoll breit und 6 Fufs 4 Zoll hoch. Sie sind auf den höchsten Theilen der Böschung an Ort und Stelle ausgeführt, sonst aber auf besondern Baustellen geformt, und nachdem sie hinreichend erhärtet waren, zur Zeit des Hochwassers mit grofsen Böten, unter die sie gehängt wurden, an die zu ihrer Ablagerung bestimmten Orte gebracht. Bis zum Jahr 1855 waren im Ganzen 2111 solcher Blöcke geformt und verlegt. Auf der nördlichen und westlichen Seite des westlichen Forts, das besonders bedroht wurde, lagen 996 derselben, vor dem später hinzugekommenen Fort auf der Mitte des westlichen Flügels 240, vor dem Central-Fort 53 und vor dem Fort auf dem östlichen Ende des Damms 822. Wahrscheinlich ist die Anzahl derselben seitdem noch vergröfsert, da wohl neue hinzugefügt werden, wenn zufällig einzelne Stellen der Böschung sich entblöfsen. Das Central-Fort ist nach dieser Zusammenstellung am wenigsten geschützt, aber hier hat man eine andre und gewifs viel kräftigere Sicherungs-Maafsregel in Anwendung gebracht. Als ich nämlich 1857 dort war, sah ich, dafs man vor dem Fufs der Mauer nicht einzelne Blöcke formte, vielmehr die ganze Böschung im Zusammenhange in der Stärke der Blöcke, also 6 Fufs 4 Zoll hoch mit Bruchsteinen übermauerte. Der Mörtel, den man dabei benutzte, band so schnell, dafs bei dem Uebertreten der nächsten Fluth über das frische Mauerwerk keine Fuge ausgespült wurde. Man beobachtete freilich die Vorsicht, dafs man beim jedesmaligen Abschlufs nur ziemlich schmale Mörtelfugen darstellte, und die Oberfläche grofsentheils aus den breiten Flächen der natürlichen

Steine bildete. In demjenigen Theil des Mauerwerks, der am Tage vorher ausgeführt war, über den also bereits zwei Fluthen gegangen waren, hatte der Mörtel solche Festigkeit angenommen, daſs man ein Messer nicht mehr hineinstoſsen konnte.

Schlieſslich mag noch erwähnt werden, daſs die Ausführung des Forts auf dem westlichen Ende des Damms sogleich groſses Bedenken erregte. Die Steinschüttung daselbst war nämlich stark abgetrieben, und muſste daher bedeutend erhöht werden. Die Ingenieure wünschten eine starke Belastung aufzubringen, damit vor der Ausführung des Werks der Untergrund sich gehörig fest lagern möchte. Es fehlte indessen theils an Gelegenheit, das hierzu erforderliche Steinmaterial beizuschaffen, theils aber drang die Regierung auch darauf, daſs das Fort möglichst bald erbaut und besetzt würde. Der Bau wurde daher 1848 begonnen und 1850 bereits beendigt. In demselben Jahr wurde das Fort auch schon ausgerüstet und besetzt. Als ich 1857 dort war, hatte man es indessen wieder verlassen, indem die Mauern an mehreren Stellen so gefährlich gerissen waren, daſs der vollständige Einsturz vorauszusehn war. Man hatte nunmehr den ganzen innern Raum etwa 30 Fuſs hoch mit Steinen ausgepackt, um den Untergrund endlich zum Stehn zu bringen, und es war Absicht, daſs, wenn dieser Zeitpunkt eingetreten wäre, das ganze Fort niedergerissen und aufs Neue erbaut werden sollte.

Damit man selbst bei starker Wellenbewegung bequem zu diesen Forts gelangen kann, sind neben dem Fort Central zwei kleine mit hohen Mauern eingeschlossene Häfen erbaut, zu welchen steinerne Treppen herabführen, und an jedem der beiden äuſsern Forts befindet sich gleichfalls ein solcher Hafen. In Fig. 108 sind dieselben angedeutet.

Der ganze Wellenbrecher hatte von seinem ersten Beginn ab, also mit Einschluſs der ursprünglichen Kegel und mit Inbegriff der Mauer auf der Steinschüttung, der kleinen Häfen und der Fundirungen der Festungswerke 66,862274 Francs gekostet. Seine Länge miſst zwischen den beiden Einfahrten zur Rhede 3712 Meter oder 11827 Rheinl. Fuſs. Der laufende Fuſs kostet also etwas über 1500 Thaler.

Endlich bleibt noch des Kriegshafens zu erwähnen, der in der Situations-Zeichnung der Rhede Fig. 108 bereits angedeutet,

aufserdem in gröfserem Maafsstabe Fig. 113 dargestellt ist. Zunächst mag dieser letzte Plan, aus einer lithographirten Zeichnung entnommen, speciell erklärt werden.

Das ganze eigentliche Marine-Etablissement ist mit einer hohen Mauer umgeben, welche durch die stark ausgezogene Linie bezeichnet ist.

Litt. 1. zeigt den Haupt-Zugang, welcher der Stadt zugekehrt ist,

2. sind acht andere Zugänge, die sich rings umher in der Mauer befinden,

3. der Vorhafen,

4. das ältere, daneben befindliche Bassin, oder der nördliche Flotthafen,

5. das neuere Bassin, oder der westliche Flotthafen,

6. der Hafen Chantereyne, der nicht sowol von den Fahrzeugen der Kriegs-Marine benutzt wird, als vielmehr von andern Schiffen, die Materialien und Güter herbeiführen,

7. die Proviant-Magazine, neben dem letztern,

8. geneigte Fläche zum Aufschleppen von Böten und kleineren Fahrzeugen, neben demselben Hafen,

9. grofses Magazin für Schiffsbauholz,

10. die Hauptwache neben dem ersten Eingange,

11. das Admiralitäts-Gebäude,

12. die Büreaus für den Schiffsbau,

13. das Giefshaus,

14. Schmieden, Hammerwerke und Maschinenbau-Anstalten,

15. das Arrest-Local, neben der Wache,

16. die Caserne der Marine-Artillerie,

17. die Hafen-Gensd'armerie,

18. Caserne der Marine-Infanterie,

19. Raum zu Casernen für Linientruppen reservirt,

20. verschiedne Kohlenplätze, neben dem Vorhafen und beiden Bassins,

21. Kochhäuser am Vorhafen und am nördlichen Bassin,

22. das alte Trocken-Dock, das schon gleichzeitig mit dem Vorhafen erbaut wurde,

23. vier überdeckte Hellinge zu beiden Seiten des letztern,

24. der Hauptpegel, neben dem Vorhafen,

25. Materialien-Büreaus,

26. fünf Schuppen für verschiedne Materialien, wie Theer, Werg, Farben, Ketten und dergleichen,

27. Dampfmaschinen-Gebäude zum Auspumpen des Trocken-Docks auf der Südseite des westlichen Bassins,

28. sieben Trocken-Docks am westlichen Bassin. Zwei derselben sind zur Aufnahme von je zwei Schiffen eingerichtet,

29. Schuppen zur Aufbewahrung von Hölzern,

30. sieben Hellinge an der Westseite des westlichen Bassins,

31. grofses Reservoir für süfses Wasser, nebst Vorrichtung zum Filtriren desselben,

32. Hafenbau-Büreaus,

33. Magazin für verschiedne Materialien und Geräthe. Hier befindet sich auch die Dampfmaschine zum Auspumpen der daneben befindlichen Trocken-Docks,

34. Kesselschmiede und Schlosser-Werkstatt,

35. Hauptverwaltung des Hafens,

36. Schuppen zur Aufbewahrung und Bearbeitung der Masten,

37. Graben, worin die Stämme versenkt werden, die zu Masten verarbeitet werden sollen,

38. Direction der Marine-Artillerie.

Aufserhalb der Mauer, jedoch noch innerhalb der Festungswerke befinden sich:

39. Versammlungs-Local für die Offiziere,

40. Caserne der Linien-Infanterie,

41. Militär-Hospital, und

42. Land-Artillerie.

Endlich:

43. die Seilspinnerei und Blockmacherei liegt aufserhalb der Festungswerke.

Der Bau des Kriegshafens wurde unter Napoleon I. begonnen. Das Terrain war ein unregelmäfsiges ziemlich niedriges Felsenufer, in welchem sich einzelne Stellen von grofser Tiefe vorfanden. Eine solche wurde zur Mündung des Vorhafens bestimmt. Man machte mit der Darstellung der beiden abgerundeten Köpfe den Anfang, welche den Eingang zum Vorhafen bilden sollten. Dieselben wurden mit einer möglichst dicht schliefsenden Holzwand umgeben, die aus einzelnen Balken bestand, die zwischen

Zwingen bis zum Felsboden herabgestofsen waren. (Dieses Verfahren ist im ersten Theile dieses Handbuchs § 43 beschrieben.) Innerhalb dieser Wände wurde bis zur Höhe des niedrigsten Wassers Béton versenkt, und darüber wasserdichte Umschliefsungs-Mauern gestellt. Die Fundamente für die beiden Leuchtthürme, die vielleicht noch nicht erbaut sind, wurden darin gleichzeitig ausgeführt. Dasselbe Verfahren wurde auch an allen Stellen in der beabsichtigten Uferlinie angewendet, wo die Felsen sich nicht bis über das Hochwasser erhoben, indem es darauf ankam, letzteres von dem Vorhafen und dem nördlichen Bassin vollständig abzuhalten. Die sämmtlichen Kais neben dem Meere, so wie auch die erwähnten Hafenköpfe liegen 10 Fufs über den Aequinoctial-Springfluthen.

Es kam nunmehr darauf an, die Oeffnung zwischen diesen beiden Köpfen zu schliefsen, und dieses geschah mittelst eines kolossalen Fangedammes, den man unter Anbringung vielfacher Verstrebungen im Jahre 1807 darstellte, und ihn auch mit der unregelmäfsigen Sohle und den Seitenwänden so dicht verband, dafs er nur wenig Wasser durchliefs.

Der Boden bestand hier aus Grauwacke, die in der Tiefe in Granit überging, während oben vielfach Thonschiefer, Gneufs und nicht selten auch reiner Quarz vorkam. Bis 30 Fufs unter dem niedrigsten Wasser mufste die Sohle des Vorhafens ausgehoben werden, dieses konnte grofsentheils nur durch Sprengen geschehn, während man später, da Alles im Trocknen ausgeführt wurde, durch Nacharbeiten aus freier Hand den Boden und die Wände, soweit letztere aus festem Granit bestanden, ebnete. Dieses feste Gestein fand sich indessen grofsentheils nur in der Tiefe vor, darüber mufsten aus Granitquadern Blendmauern aufgeführt werden. Um den Vorhafen später nicht aufs Neue trocken legen zu dürfen, wurden sogleich die Eingänge zu den Schleusen-Canälen ausgeführt, die denselben mit den beiden Flotthäfen verbinden sollten, und darin die nöthigen Vorrichtungen getroffen, um sie später wasserdicht abschliefsen zu können.

Der Vorhafen ist etwa 75 Ruthen lang und 64 Ruthen breit. Seine Umfassungsmauern, die sich noch einige Fufs über Aequinoctial-Springfluthen erheben, sind von der Sohle gemessen etwa 57 Fufs hoch. Die Mündung nach der Rhede ist an der schmalsten

Stelle 204 Fufs weit. Am 27. August 1813 war dieser Theil des Baues fertig und in Gegenwart der Kaiserin wurde feierlich der Fangedamm mit einigen Oeffnungen versehn, wodurch bei steigender Fluth das Wasser einströmte und endlich den ganzen Damm durchbrach. Ehe dieses geschah, segelte die Kriegsflotte, die auf der Rhede lag, dicht am Fangedamm vorüber, und das Schauspiel schien einen ernsteren Charakter anzunehmen, als gerade in dieser Zeit ein Englischer Kreuzer bis nahe an den Wellenbrecher herankam, jedoch nur ein ruhiger Zuschauer der Feierlichkeit blieb.

Als ich im Frühjahr 1823 in Cherbourg war, wurde das nördliche Bassin in gleicher Weise wie früher der Vorhafen vertieft. Es erhielt dieselbe Tiefe, wie dieser. Es ist gleichfalls 78 Ruthen lang, jedoch nur 58 Ruthen breit. Zwei Thorpaare, die eine Oeffnung von 60 Fufs schliefsen, und die in entgegengesetzten Richtungen stemmen, können sowol einen höheren, wie auch einen niedrigeren Wasserstand darin erhalten.

Am südlichen Ende des Vorhafens und zwar in der Achse desselben befand sich damals bereits ein Trocken-Dock, in der Zeichnung unter Nr. 22 angedeutet und zu beiden Seiten desselben vier Hellinge, von denen drei mit starken durchbrochnen Mauern umgeben und überdacht waren. Ein Quell süfsen Wassers flofs aus dem Granit hervor, worin das Trocken-Dock ausgebrochen war, man hatte ihn eingefafst und mit einem Hahn geschlossen. In diesem Dock wurde ein Linienschiff gebaut, das damals Duc de Bordeaux hiefs, das aber bei dem jedesmaligen Wechsel der Regierung einen andern Namen erhielt, und als es endlich nach Jahren fertig wurde, durch die feuchte Luft in dem Dock so sehr gelitten hatte, dafs man zweifelhaft war, ob es überhaupt noch ausgerüstet werden sollte.

Der letzte Umstand verursachte eine bedeutende Aenderung in dem ganzen Hafen-Project. Die grofsen Vortheile, welche Trocken-Docks nicht nur bei der Reparatur, sondern auch beim Neubau von Schiffen zu bieten schienen, waren Veranlassung gewesen, dafs man eine grofse Anzahl derselben projectirt hatte. Das dritte oder westliche Bassin sollte nämlich nach dem ursprünglichen Plan, der in dem Memoire von Cachin dargestellt ist, eine halbkreisförmige Gestalt erhalten, und mit der geraden

Seite oder dem Durchmesser sich an den Vorhafen und an das nördliche Bassin lehnen, indem es mit beiden durch Schleusen in Verbindung stand. In dem ganzen Umfange des Halbkreises sollten aber in radialer Richtung, möglichst nahe neben einander, fünfzehn Trocken-Docks erbaut werden. Nach der erwähnten sehr unangenehmen Erfahrung hat man indessen hiervon Abstand genommen, und es befinden sich neben dem westlichen Bassin, welches eine oblonge Form erhalten hat, nur sieben Trocken-Docks, jedoch auch eben so viele Hellinge. Bei Neubauten von Schiffen sollen letztere ausschliefslich benutzt werden.

Im Jahr 1857 war das westliche Bassin beinahe bis zu seiner vollen Tiefe ausgehoben und mit Mauern eingefafst, auch waren die Schleusenhäupter in den beiden Verbindungen nahe beendigt, die Schleuse, die von hier nach dem Vorhafen führte, schien einige achtzig Fufs weit zu sein. Auffallend war es, dafs auf den Hellingen der Neubau von Schiffen schon seit längerer Zeit begonnen war, so dafs diese gleichzeitig mit dem Bassin fertig werden und sogleich ablaufen sollten, wie letzteres sich mit Wasser füllte. Auch dieses Bassin wurde eben so tief, wie der Vorhafen ausgehoben.

Ein sehr bedeutender Uebelstand bestand darin, dafs zur Zeit des niedrigen Wassers die gröfsern Schiffe weder in den Vorhafen einlaufen, noch denselben verlassen konnten, weil auf dem anschliefsenden Theil der Rhede noch die nöthige Wassertiefe fehlte. Man war damals mit Sprengungsarbeiten beschäftigt, die jedoch, wie mir gesagt wurde, wegen der vielfachen Unterbrechungen nur sehr langsam vorschritten.

Schliefslich mag noch des Süfswasser-Bassins und der Filtriranstalt erwähnt werden, die sich in dem Gebäude Nr. 31 des Plans befindet. Letzteres ist etwa 180 Fufs lang und 100 Fufs breit. Es enthält im Innern einen ganz freien Raum, durch welchen nur der Länge nach zwei Reihen von je zwölf Pfeilern hindurchführen, die das Gewölbe tragen. In den Umfassungsmauern sind keine Fenster angebracht, weil es Absicht war, nicht nur den Zutritt der Luft, sondern auch des Lichts abzuhalten, um möglichst jeden Organismus vom Wasser zu entfernen.

Rings um die Umfassungsmauern zieht sich im Innern des Gebäudes ein etwa 15 Fufs breiter Canal hin, dieser enthält das

bereits filtrirte Wasser. Hinter demselben und zwar an der einen Giebelseite befindet sich das Bassin, in welches der Bach, die Divette, hineingeleitet wird, und aus diesem fliefst das Wasser in das Filtrum, welches den ganzen übrigen Raum einnimmt. Der Canal soll über 8000 Tonnen, also etwa 26000 Cubikfufs halten. Mittelst einer Dampfmaschine wird das filtrirte Wasser in die Röhrenleitungen zur Seite der Bassins, und aus diesen durch Schläuche unmittelbar in die Wasserbehälter der Schiffe getrieben.

Fünfter Abschnitt.

Die Hafenmündung.

§ 37.

Local-Untersuchungen.

Wenn die passende Anordnung des ganzen Seehafens, und sonach auch die des Binnenhafens mit seinen verschiedenen Einzelheiten, die genaue Untersuchung der localen Verhältnisse dringend fordert, so sind die dabei nöthigen Aufnahmen, Nivellements, Tiefenmessungen, Bohrungen und dergleichen dieselben, welche mehr oder weniger bei andern baulichen Anlagen vorkommen. Die richtige Wahl und Einrichtung der Hafenmündung ist dagegen so sehr durch äufsere Umstände bedingt, dafs diese mit besonderer Vorsicht ermittelt und berücksichtigt werden müssen. Wie bereits früher angedeutet worden, und später noch ausführlich nachgewiesen werden wird, läfst sich das tiefe Fahrwasser in und vor der Hafenmündung nur selten unmittelbar durch Baggern offen erhalten, vielmehr ist hierzu gemeinhin eine anhaltende, oder wenigstens in kurzen Zwischenzeiten eintretende starke Ausströmung nothwendig, und man mufs daher, wenn es sich um die Einrichtung eines neuen Hafens, oder um die Verbesserung eines bestehenden handelt, sich genaue Kenntnifs davon verschaffen, ob und in welchem Maafse Verflachungen zu besorgen sind, und welche Mittel die örtlichen Verhältnisse bieten, um die Tiefe zu sichern. Die Local-Untersuchungen sind daher in diesem Fall in solcher Ausdehnung erforderlich und zugleich müssen sie sich auf so viele Umstände erstrecken, dafs die specielle Bezeichnung derselben hier nicht umgangen werden darf.

Jedenfalls ist die Aufnahme der Küste bei dem gewöhnlichen Wasserstande, oder wenn Fluth und Ebbe stattfindet, bei bestimmtem Hoch- oder Niedrigwasser nothwendig. Dabei müssen zugleich die Flufsmündungen und die in der Nähe befindlichen

Wasserflächen eingetragen werden, sowie auch Bauwerke und sonstige Anlagen, ferner höhere Ufer, Dünen und dergleichen, die bei der Hafen-Anlage in Betracht kommen. Um jedoch an diese Situation auch sicher die Tiefenmessungen nebst den Aufnahmen der Inseln, Klippen und Sandbänke anschliefsen zu können, sind die scharf markirten und weit sichtbaren Festpunkte, wie Thurmspitzen, Windmühlen, Giebel von Gebäuden und dergleichen mit Sorgfalt zu bestimmen, und sollten diese für die in der See auszuführenden Messungen nicht genügen, so müssen noch andre passende Signale errichtet und gleichfalls festgelegt werden. Endlich ist es aber nothwendig, einzelne Punkte, die zum Aufstellen von Mefsinstrumenten dienen, durch fest eingegrabene Pfähle oder Steine zu bezeichnen und die Lage derselben gleichfalls sicher zu bestimmen, damit man von diesen jederzeit die Messungen mit Leichtigkeit wiederholen und vervollständigen kann.

Um die verschiednen Festpunkte mit Sicherheit in die Zeichnung einzutragen, und andre eben so sicher festzulegen, von denen aus man nach diesen gemessen hat, ist es nothwendig, eine vollständige trigonometrische Operation der ganzen Messung zum Grunde zu legen und diese zugleich mit denjenigen einfachen astronomischen Messungen zu verbinden, welche zur Bestimmung des Meridians dienen. Will man die speciellen Aufnahmen mit der Boussole machen, oder vielleicht auch einen Peilcompas anwenden, um einige Punkte neben den ausgesteckten Baaken zu bestimmen, so mufs die Abweichung der Magnetnadel gleichfalls ermittelt werden.

Die Lage der verschiednen, sowol auf dem Lande, wie auf dem Wasser festgelegten Punkte stellt sich am übersichtlichsten dar, und ist auch am bequemsten und sichersten in die Zeichnung einzutragen, wenn man jeden Punkt durch rechtwinklige Coordinaten bestimmt. Als Anfangspunkt derselben wähle man einen besonders vorragenden und scharf markirten, zugleich aber auch einen solchen Gegenstand, der voraussichtlich lange Zeit hindurch unverändert bleibt, wie etwa den Leuchtthurm, wenn solcher neben dem Hafen steht, oder einen Kirchthurm. Die Abscissen-Achse lege man alsdann in den Meridian, und stelle tabellarisch die Lage aller trigonometrisch gemessnen Punkte nach Abscissen und Ordinaten zusammen, indem man durch das positive

oder negative Zeichen bemerklich macht, dafs sie sich in einer oder in der entgegengesetzten Richtung von dem gewählten Anfangspunkt befinden.

Soweit diese Messungen auf dem Lande ausgeführt werden, ist darüber nichts hinzuzufügen, indem vorausgesetzt werden mufs, dafs der Hafenbaumeister mit solchen Arbeiten bekannt und darin geübt ist, auch dafs er es versteht, durch hinreichende Controlen und richtige Beurtheilung der Sicherheit seiner Arbeiten solche Fehler zu vermeiden, welche die Brauchbarkeit der Messung in Zweifel stellen könnten. Zur Festlegung einzelner Punkte in der Wasserfläche kann man dieselben durch eingesteckte Stangen oder sogenannte Baaken bezeichnen, die man vom Ufer aus mit dem Mefsinstrument einschneidet. Die Tonnen, welche das Fahrwasser bezeichnen, wird man zwar jedesmal auch in dieser Weise in die Charte eintragen, da sie jedoch ihre Stelle keineswegs unverändert behalten, vielmehr bald nach der einen und bald nach der andern Seite ausschwingen, so bezeichnen sie keine genau markirten Punkte und am wenigsten darf man sie benutzen, um von ihnen aus wieder die Lage andrer Punkte herzuleiten.

Die in den Grund eingestofsenen Stangen eignen sich dagegen hierzu sehr wohl, und es liegt offenbar ein grofser Vortheil darin, wenn man zur Aufnahme des Fahrwassers oder der Untiefen zur Seite desselben, Festpunkte benutzen kann, die in unmittelbarer Nähe sich befinden. Die speciellen Messungen lassen sich alsdann noch hinreichend sicher mit Instrumenten anstellen, die zwar keine besonders scharfe Ablesung gestatten, deren Gebrauch aber selbst auf einem Boote bequem ist. Hierzu gehört namentlich die Boussole, die jedoch, wenn sie auf dem Boote benutzt werden soll, so eingerichtet sein mufs, dafs sie keiner festen Aufstellung bedarf, und dafs man beim Visiren zugleich den Grad abliest, auf welchen sich die Magnetnadel einstellt. Die sogenannte Schmalkaldensche Boussole gewährt diesen Vortheil, dasselbe findet auch statt bei dem Peil-Compas, welchen der Schiffer in ähnlicher Weise benutzt. Bei diesen Instrumenten dürfen indessen die Nadeln nicht sehr beweglich sein, weil man sie sonst bei dem Schwanken des Bootes nicht genügend zur Ruhe bringen kann. Es empfiehlt sich daher, die Nadel mit einer vertikalen Achse zu versehn, und diese oben wie unten mit ihren

Spitzen in Pfannen laufen zu lassen. Indem man letztere beliebig anziehn kann, so wird hierdurch Gelegenheit geboten, der Nadel diejenige Reibung zu geben, welche sie haben muſs, um nicht in zu starke Schwingungen versetzt zu werden. Einer groſsen Beweglichkeit bedarf sie aber in diesem Fall nicht, weil die unvermeidlichen Schwankungen sie doch nicht zur vollständigen Ruhe kommen lassen. Es ergiebt sich aber hieraus, daſs scharfe Winkelmessungen in dieser Art nicht zu machen sind, es dürfte sogar nur bei ruhiger Witterung gelingen, einen Winkel bis auf 2 oder 3 Grade richtig abzulesen. Wenn so groſse Fehler die Sicherheit der Aufnahme aber nicht beeinträchtigen sollen, so müssen die Festpunkte, an welche man sich anschlieſsen will, sehr nahe liegen.

Dasjenige Instrument, womit man der Schwankungen des Bootes unerachtet sichere Winkelmessungen ausführen kann, ist der Spiegel-Sextant. Selbst mit dem Taschen-Sextant, bei dem der eingetheilte Kreis nur etwa $1^1/_2$ Zoll Radius hat, wird man bei vorsichtigem Gebrauch nicht leicht einen gröſsern Fehler, als von einigen Minuten machen. Jedenfalls ist es aber bequemer und sicherer, ein gröſseres Instrument von etwa 5 Zoll Radius zu benutzen. Die Anwendung eines starken Fernrohrs erschwert den Gebrauch desselben. Ich habe es immer am bequemsten gefunden, bei den Messungen auf einem Boote gar kein Fernrohr einzuschrauben, vielmehr nur die feine Visir-Oeffnung zu benutzen.

Bei dieser Sicherheit der Winkel-Messungen ist es leicht, mittelst des Sextanten jeden Punkt, auf dem man sich befindet, mit hinreichender Schärfe zu bestimmen, indem man zwischen drei ihrer Lage nach bekannten Festpunkten die Winkel miſst. Wie man aus diesen die Lage des Beobachtungs-Punktes berechnet, ergiebt sich aus der in den Lehrbüchern der Feldmeſskunst behandelten Pothenotschen Aufgabe. Ich habe bei andrer Gelegenheit gezeigt, wie zu verfahren ist, wenn man nicht nur zwischen drei, sondern zwischen einer gröſsern Anzahl von Festpunkten die Winkel miſst, und es alsdann darauf ankommt, die wahrscheinlichsten Werthe der gesuchten Coordinaten des Beobachtungs-Punktes zu finden.*)

*) Grundzüge der Wahrscheinlichkeits-Rechnung von G. Hagen. Berlin 1867. § 39.

Gemeinhin kommt es darauf an, nicht nur einen, sondern eine gröfsere Anzahl von Punkten festzulegen, deren Tiefen man gemessen hat. Die Rechnungen vereinfachen sich alsdann aufserordentlich, wenn man immer dieselben Festpunkte am Ufer benutzt. Man wähle also drei derselben aus, die jedoch hinreichend weit auseinander liegen, recht scharf markirt und genau bestimmt sind, auch sich nicht zu weit über den Horizont erheben, weil man, wenn das letzte der Fall wäre, in gröfserer Nähe die Winkel in geneigten Ebenen messen würde, die mit ihren Projectionen auf den Horizont nicht übereinstimmen. Eine besondere Vorsicht in der Wahl dieser drei Festpunkte bezieht sich noch darauf, dafs der durch sie geschlagne Kreis nicht etwa in die Nähe eines Beobachtungspunktes fallen darf. Diese Rücksicht begründet sich durch den bekannten Satz, dafs alle Peripherie-Winkel, welche denselben Bogen umfassen, einander gleich sind. Wenn also der Beobachtungspunkt in demselben Kreise liegen sollte, der durch die zum Grunde gelegten Festpunkte gezogen wird, so würde die Rechnung nur ergeben, dafs der gesuchte Punkt in diesem Kreise liegt, aber die Stelle, an welcher er sich in demselben befindet, würde nicht zu ermitteln sein.

Bei einiger Uebung im Zahlenrechnen und wenn man dabei, wie jedenfalls genügend ist, nur fünfstellige Logarithmen-Tafeln benutzt, erfordert dieses Verfahren keinen grofsen Zeitaufwand, und jedenfalls führt es zu sichereren Resultaten, als wenn man in der bekannten Weise die Pothenotsche Aufgabe graphisch löst, oder wenn man, wie in neuerer Zeit oft geschieht, drei in einem Punkte verbundne Lineale nach den gemessenen Winkeln gegen einander richtet und nun durch Hin- und Herschieben den Apparat so legt, dafs jedes Lineal einen der drei Festpunkte berührt. Alsdann ist der Punkt, in welchem die drei Visirlinien zusammenfallen, zugleich der gesuchte, von welchem aus man die Winkel gemessen hat.

Eine ausgedehnte Tiefenmessung würde dennoch bei diesem Verfahren überaus zeitraubend sein, wenn man jedesmal, so oft die Peilstange oder das Loth benutzt wird, das Boot festlegen und die Winkel zwischen den Festpunkten messen wollte. Man begnügt sich daher letzteres nur in gröfseren Abständen zu thun, und dafür zu sorgen, dafs in den Zwischenstrecken unter

anhaltend fortgesetztem Messen der Tiefe das Boot möglichst gleichmäſsig und ohne Veränderung der Richtung gerudert wird, auch die Tiefenmessungen in gleichen Zeitintervallen geschehn. Diese werden alsdann bei dem Eintragen in die Charte auf die ganze Zwischenstrecke gleichmäſsig vertheilt.

Sehr bequem wird die Messung, wenn man in gewissen gegebenen Richtungslinien das Boot führt. Man braucht alsdann nur den Winkel gegen einen seitwärts belegnen Festpunkt zu messen, um die Stelle zu bestimmen, an welcher man sich jedesmal befindet.

Zu diesem Zweck wähle man einen weit entfernten deutlich sichtbaren Gegenstand, wie etwa einen frei stehnden Thurm, und errichte am Strande in bestimmten Abständen von einander einige Signale, die mit jenem die verschiednen Richtungslinien bezeichnen. Auſserdem suche man noch einen möglichst nahe am Ufer befindlichen andern Festpunkt, der gleichfalls deutlich zu erkennen ist und in gehörigem Abstande von den Richtungslinien sich befindet. Zwischen dem letzten und dem entfernten ersten Punkt werden stets die Winkel gemessen, während das Boot diejenige gerade Linie verfolgt, welche durch den erwähnten entfernten Festpunkt und eins der am Strande errichteten Signale gezogen ist.

Zu solcher Messung ist die Mitwirkung mehrerer Personen erforderlich. Auſser den Ruderern, die das Boot möglichst gleichmäſsig und langsam in Bewegung setzen, muſs ein zuverlässiger Mann das Steuer führen, der das angegebene Alignement genau beachtet, und eben sowol, wenn das Boot vom Ufer aus nach der offnen See, als wenn es umgekehrt nach dem Ufer fährt, diese Linien inne hält, so daſs die jedesmaligen Alignements-Punkte sich fortwährend decken. Ein andrer Arbeiter muſs den Peilstock ausstecken, die Tiefen richtig ablesen und dieselben laut ausrufen. Bei gröſsern Tiefen bedient er sich des Lothes, es kommt indessen sehr darauf an, daſs die einzelnen Messungen in gleichen und nicht gar zu langen Zwischenzeiten auf einander folgen. Ein Gehülfe schreibt ferner jede einzelne abgelesene Tiefe in eine Spalte der Tabelle, deren Ueberschrift die jedesmalige Richtungslinie bezeichnet. Endlich müssen auch die Winkel gegen den auſserhalb der Alignements-Linie befindlichen Festpunkt mit dem Sextant gemessen werden, und diese Operation, als die schwierigste, übernimmt der Hafen-

baumeister selbst. Der gemeſsne Winkel wird in jene Tabelle zwischen die ausgerufnen Tiefen eingeschrieben, und zwar der Zeit entsprechend an der Stelle, wo die beiden Bilder im Sextant zusammenfallen. Man muſs also, sobald dieses geschieht, ein Zeichen geben, daſs diese Stelle zwischen den Tiefenmaaſsen sogleich markirt wird. Thäte man dieses nicht und wollte man zuerst den Winkel ablesen, so würde wenigstens eine und meist mehrere Tiefen in dieser Zwischenzeit schon notirt sein, also der Winkel und folglich auch der daraus hergeleitete Beobachtungs-Ort würde unrichtig angegeben werden. Ich habe es besonders bequem gefunden, den Sextant vorher auf einen bestimmten Winkel einzustellen, und den Zeitpunkt abzuwarten, wo die beiden Bilder bei dieser Einstellung sich deckten. In dem Augenblick, wo dieses geschieht, wird alsdann der vorher schon abgelesene Winkel ausgerufen, und so kommt derselbe an die richtige Stelle der Tabelle. Es tritt dabei noch der wesentliche Vortheil ein, daſs die Einstellung des Sextanten auf Winkel etwa von 10 zu 10 Minuten das Auge weniger angreift, als wenn diese Einstellung ganz zufällig erfolgt ist, und der Winkel demnächst scharf abgelesen werden soll. Dieser Umstand ist von groſser Bedeutung, wenn solche Messungen mehrere Stunden hindurch fortgesetzt werden. Man wird auch leicht bemerken, wie weit jedesmal die Verstellung des Winkels erfolgen muſs. Fährt man nach den Festpunkten hin, so vergröſsert sich der Winkel, er verkleinert sich aber, wenn man sich von denselben entfernt. Eins wie das andre geschieht aber nicht gleichmäſsig, wenn das Boot sich gleichmäſsig bewegt. Man wird daher, je nachdem die Perioden der Messung zu groſs oder zu klein werden, auch verschiedne Aenderungen des Winkels wählen müssen.

Obwohl dieses Verfahren sowol in der Ausführung der Messung, wie auch in der darauf folgenden Berechnung überaus bequem ist, so tritt dabei doch häufig der Uebelstand ein, daſs der Matrose, der das Steuer führt, selbst wenn er das Signal noch deutlich sehn kann, die vorgeschriebene Richtung nicht so genau inne hält, wie die nothwendige Sicherheit der Messung fordert. Ich habe vielfach bemerkt, daſs selbst sehr bedeutende Abweichungen eintraten, und wenn ich auf diese aufmerksam machte, daſs alsdann das Boot so scharf in die Richtungslinie

eingelenkt wurde, dafs es über dieselbe hinaustrat und sich auf der andern Seite in gleicher Weise davon entfernte. Es kommt sonach darauf an, einem besonders zuverlässigen und in der Führung des Steuers geübten Seemann dieses Geschäft zu übertragen.

Es mufs noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs es für spätere Wiederholungen der Messung sehr wichtig ist, die Punkte, auf welche die Signale gestellt waren, dauernd zu bezeichnen, weil man alsdann die Resultate unmittelbar mit einander vergleichen und die inzwischen eingetretenen Veränderungen deutlich erkennen kann. Sehr zweckmäfsig hatte der frühere Hafenbauinspector Bleeck in Memel auf dem zurückliegenden höheren Ufer ein weit sichtbares Signal errichtet und fünf andre am Strande aufgestellt. Dadurch sind fünf Linien dauernd gegeben, welche das Seegatt umfassen, und beim Peilen desselben läfst sich sehr bequem wahrnehmen, ob die darin vorkommenden Sandflächen sich der See genähert oder davon entfernt haben. Die Queer-Richtung erfordert freilich noch besondere Messungen.

Wenn es nur darauf ankommt, in geringer Entfernung vom Strande die Tiefen zu messen, so geschieht dieses häufig in derselben Art, die bei Gelegenheit der Aufnahme von Stromcharten*) bereits mitgetheilt ist. Wegen der grofsen Nähe der Signale an einander sind indessen für gröfsere Entfernungen diese Richtungslinien nicht scharf genug gegeben, auch kann man die transportabeln Signale bald nicht mehr deutlich erkennen und gehörig von einander unterscheiden.

Ueber die Instrumente zum Messen der Tiefen und die Benutzungsart derselben ist an der so eben bezogenen Stelle bereits das Nöthige mitgetheilt, es wäre nur zu bemerken, dafs die Peilstangen in diesem Fall bedeutend länger sein müssen, als man sie auf Strömen gebraucht. Bis zu 24 Fufs Länge lassen sie sich bei einiger Uebung noch bequem handhaben, bei gröfserer Tiefe ist das Loth nicht zu entbehren. Die in § 12 (III. Theil) beschriebenen Apparate wird man in der Nähe der Häfen nicht leicht zu benutzen Veranlassung finden.

---

*) Im zweiten Theil dieses Handbuchs § 13 und Fig. 60 dargestellt.

Sehr nöthig ist es, die sämmtlichen Tiefen auf gleichen Wasserstand zurückzuführen, und hierzu wählt man, wenn merkliche Fluth und Ebbe nicht stattfindet, den mittleren Wasserstand. Da aber solche Messungen gewöhnlich bei ruhiger See ausgeführt werden, so bleibt der Wasserstand während derselben nahe unverändert, und die sämmtlichen an einem Tage gefundenen Tiefen können meist in gleicher Weise auf den mittleren Wasserstand übertragen werden, ohne dafs die Stunde, in welcher sie abgelesen wurden, berücksichtigt werden darf.

Anders verhält es sich dagegen, wenn bei merklichem Fluthwechsel der Wasserstand in kurzen Zwischenzeiten sich verändert. Alsdann müssen neben den Tiefen auch die Zeiten notirt werden, in welchen sie gemessen sind, und ein in der Nähe befindlicher Pegel mufs dauernd beobachtet werden, um dem gleichzeitigen Wasserstande entsprechend jedesmal die erforderliche Aenderung einführen zu können. In England und Frankreich ist es üblich, die Horizontal-Ebene, auf welche die in die Karte eingetragenen Tiefen sich beziehn, in das Niedrig-Wasser der Aequinoctial-Springfluthen zu legen. Man führt solche Messungen aber gern um die Zeit des niedrigen Wassers aus, weil alsdann die Tiefen geringer sind und sich deshalb bequemer und sicherer bestimmen lassen.

Wenn die gefundenen Tiefen in der Karte nur durch eingeschriebene Zahlen bezeichnet werden, so stellen sich die Untiefen wie auch die dazwischen liegenden Rinnen nicht übersichtlich dar, und es empfiehlt sich daher, die gleichen Tiefen durch Linien mit einander zu verbinden, oder Tiefenlinien anzugeben, in welchen die verschiednen horizontalen Ebenen den Grund treffen. Diese Darstellungsart ist allgemein üblich, und da der Faden oder 6 Fufs, sowol bei uns, wie auch in England und Amerika für den Schiffer die Maafseinheit ist, so pflegt man diese Ebenen in Abständen von 1 Faden unter einander zu legen, und durch die Anzahl der Punkte, aus welchen die Tiefenlinien sich zusammensetzen, erkennt man sogleich die Tiefen. Wenn diese gleich einem Faden sind,. so besteht die Linie aus einzelnen gleich weit von einander entfernten Punkten, sind die Punkte aber zu zwei, drei u. s. w. zusammengestellt, so geben sie die Tiefen von 2,3 . . . Faden an. Diese Bezeichnungsart ist bei-

spielsweise für den Swinemünder Hafen (Fig. 101) gewählt, doch werden vielfach dabei auch Aenderungen eingeführt, und die Angabe der Bedeutung der Tiefenlinien darf daher wohl nie fehlen.

Aus diesen Tiefenmessungen läfst sich schon in mancher Beziehung auf andre locale Verhältnisse und namentlich auf die daselbst stattfindenden Strömungen schliefsen. So stellt sich aus der so eben erwähnten Zeichnung unverkennbar heraus, dafs die von Westen nach Osten gerichtete Strömung hier vorherrschend sein mufs, und dafs diese die Sandmassen herbeigeführt hat, welche vor und neben der Hafenmündung sich so auffallend ablagern. Dieselben treten nämlich auf der westlichen Seite besonders stark vor, und wenn sie auch in der Richtung der Hafenmündung fehlen, weil der neben der östlichen Mole stark concentrirte ausgehende Strom sie immer durchbricht und beseitigt, so sieht man doch, dafs die Vierfaden-Linie eine scharf vortretende Zunge bildet, welche die besonders tief gehenden Schiffe zwingt, von der gewöhnlichen Einseglungs-Linie (welche durch die Landbaake und die Winkbaake bezeichnet ist) abzuweichen, und nahe an dem Kopf der Ostmole zu bleiben. Auffallend ist es auch, dafs dieselbe Sandbank, welche sich an die Westmole anschliefst, ungefähr parallel zur Hafenmündung gerichtet ist und an ihrer westlichen Seite steil abfällt. Man bemerkt hier sogar, dafs die Zwei- und Dreiund Vierfaden-Linien stellenweise nahe zusammentreffen. Dieses kann nur geschehn, wenn eine besonders heftige Strömung vorbeistreicht. Ohne Zweifel ist dieses der westliche Küstenstrom, der das Ufer verfolgt, und plötzlich von den Hafendämmen und dem ausgehenden Strom unterbrochen und gezwungen wird, sich nordwärts zu wenden. Er verstärkt sich vor dem Kopf der Westmole noch durch die Bewegung, die ihm durch das aus dem Hafen austretende Wasser mitgetheilt wird. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, dafs nur unmittelbar neben der Hafenmündung die Tiefenlinien unregelmäfsig vortreten, dafs sie aber sonst ungefähr parallel zum Ufer gerichtet sind.

Zu denjenigen Untersuchungen, welche der Aufstellung eines Projects zum Neubau oder zur Verbesserung eines Hafens vorangehn müssen, gehören ferner sorgfältige und längere Zeit hindurch fortgesetzte Wasserstands-Beobachtungen, und zwar sind dieselben eben so nothwendig, wenn ein merklicher Fluth-

wechsel stattfindet, als wenn ein solcher fehlt. Man mufs wissen, wie tief das Wasser zuweilen herabsinkt, und wie oft und wie lange solche niedrigen Wasserstände zu erwarten sind, um beurtheilen zu können, ob sie einen wesentlichen Einflufs auf die Schiffahrt ausüben. Auch die höchsten Wasserstände und die Perioden, in welchen diese durchschnittlich eintreten, dürfen nicht unbeachtet bleiben. Die Kenntnifs dieser ist namentlich erforderlich, um die angemefsne Höhe der Hafendämme und Kais zu bestimmen. In welcher Weise diese Beobachtungen angestellt werden, ist bereits früher ausführlich erörtert (§ 14 in Theil II und § 7 dieses Theils), so wie auch (§ 10) Zusammenstellungen der Wasserstände der Ostsee gegeben sind.

Demnächst müssen die Strömungen untersucht werden, welche sowol in dem Hafen, und namentlich in dessen Mündung statt finden, als auch diejenigen, die sich längs des Ufers hinziehn. Die Feststellung derselben und die Messung der Geschwindigkeiten ist jedoch schwieriger, als in den binnenländischen Flüssen, weil sie nicht dauernd sind und oft in kurzen Zwischenzeiten sich so sehr ändern, dafs sie sogar entgegengesetzte Richtungen annehmen. Sie entstehn nicht dadurch, dafs an bestimmten Stellen anhaltend ein höherer Wasserstand unterhalten wird, von wo der Abflufs statt findet, die Niveau-Differenzen bilden sich vielmehr vorzugsweise durch die Fluth und Ebbe, oder durch die Winde, welche bald das Wasser vor der Küste aufstauen, bald es von derselben forttreiben. Die Strom-Mündungen selbst pflegen aber so weite Profile zu haben, dafs das Gefälle in ihnen sehr gering ist, und daher beim Anschwellen der See nicht nur vollständig aufgehoben, sondern sogar in ein entgegengesetztes verwandelt wird. Indem aber die Erhaltung der Tiefe in der Hafenmündung vorzugsweise von der Ausströmung abhängig ist, aufserdem aber auch die Strömung sowol in der Mündung, wie längs der Küste das Aus- und Einkommen der Schiffe wesentlich erleichtert, oder erschwert, so ist eine genaue Kenntnifs derselben geboten.

Vorzugsweise vor solchen Küsten, wo ein starker Fluthwechsel stattfindet, bilden sich zuweilen eigenthümliche Strömungen, und da die Schiffe meist mit der Fluth ankommen, und bei der Ebbe auslaufen, so kommt es darauf an, die Hafenmündungen so

anzuordnen, dafs die Schiffe beim Durchfahren derselben nicht etwa durch die Strömung stark gedreht oder versetzt werden. Die Umkehrung des Stroms erfolgt aber in der See nicht plötzlich, sondern in langsamem Uebergange am Ende der Fluth und der Ebbe. Zuweilen dreht sich dabei die Richtung des Stroms sogar rings um den ganzen Horizont. Bei solchen Uebergängen nimmt er indessen keineswegs auf weit ausgedehnten Flächen immer dieselbe Richtung an, vielmehr kann man schon aus der Lage der ankernden Schiffe deutlich sehn, dafs er selbst in mäfsigen Abständen sich ganz verschieden gestaltet.

Um diese Strömungen zu erkennen, welche beim jedesmaligen Umsetzen der Fluth in die Ebbe, oder umgekehrt eintreten, mufs man eine gröfsere Anzahl gleichzeitiger Beobachtungen machen, und es eignet sich hierzu vorzugsweise die Methode, dafs man mehrere Schwimmer aussetzt, die in auffallender Weise bezeichnet sind, so dafs man sie sicher von einander unterscheiden kann. Indem man die Wege derselben verfolgt, so ergiebt sich daraus nicht nur die Richtung, sondern auch die Stärke der Strömung an den einzelnen Stellen, oder die Geschwindigkeit derselben. Dieses Verfahren wurde vom Wasserbaudirector Hübbe an der untern Elbe angewendet, als es einst Absicht war, den Hafen von Cuxhaven zu verbessern. Die Schwimmer wurden in einer Reihe, und zwar in verschiednen Abständen vom Ufer, ausgesetzt, und von zwei Stationen aus, wo Mefstische aufgestellt waren, abwechselnd und zwar gleichzeitig eingeschnitten. Man verfolgte sie in der vorher bestimmten Reihenfolge mit dem an der Alhidade angebrachten Fernrohr, und auf ein gegebenes laut hörbares Zeichen stellte man die Alhidaden fest und zog die Richtungslinien aus. Neben diese wurde sogleich zur Vermeidung von Verwechselungen die Zeit und die Bezeichnung des Schwimmers beigeschrieben. Dasselbe Verfahren ist auch an der Jade, sowie auch bei Swinemünde angewendet worden. Fig. 114, *a* und b auf Taf. XX zeigt einen solchen Schwimmer in der Ansicht von oben und von der Seite. Zwei Bretter, 3 Fufs lang, 6 Zoll hoch und 1 Zoll stark, sind durch Ueberschneidung bis zu ihrer halben Höhe mit einander verbunden, und ein starker hindurchgetriebener Draht giebt dieser Verbindung noch gröfsere Festigkeit. An dem letztern befindet sich diejenige Marke, die

zur Unterscheidung der verschiednen Schwimmer dient. Die grofse Fläche, die bei jeder Stellung des Schwimmers vom Strom getroffen wird, giebt Veranlassung, dafs er demselben sicher folgt, wenn auch ein mäfsiger Wind in andrer Richtung weht.

Wenn jeder einzelne Schwimmer etwa in jeder Viertelstunde zweimal beobachtet wird, so kann man durch Verbindung der Linien, die auf beiden Reifsbrettern gezogen sind, den Weg, den er zurückgelegt hat, deutlich erkennen, und es ergeben sich hieraus nicht nur die verschiednen Richtungen, sondern auch die Geschwindigkeiten der Strömungen, die gleichzeitig stattfinden. Bei Swinemünde war der ausgehnde Strom neben der östlichen Mole jedesmal viel stärker, als an der westlichen. Er hatte dort etwa die dreifache Geschwindigkeit von der hier beobachteten, und in einzelnen Fällen, wenn der Strom nur schwach war, hörte er hier sogar ganz auf. Bei östlichen Winden verfolgten die Wasserfäden, die sich längs der östlichen Mole hinzogen, die Richtung der letztern, während die weiter westlich belegnen scharf um den Kopf der Westmole umbogen und eine Richtung annahmen, die dem Ufer parallel war. Bei eingehendem Strom, und selbst bei schwachen östlichen Winden, strömte dagegen das Wasser noch von der westlichen Seite zu und drehte wieder scharf um den Kopf der Westmole in den Hafen. Obwol diese Bewegung nur sehr langsam erfolgte, so gab sie doch wieder das Vorherrschen der östlichen Küstenströmung zu erkennen.

Diese Art der Messung bezieht sich allein auf die obern Wasserschichten, und vielfach ist man der Ansicht, dafs die untern Schichten neben den Hafenmündungen ganz andre Bewegungen annehmen, weil man glaubt, dafs das süfse und das Seewasser sich nicht leicht vermischen, und bei ihrem Zusammentreten daher eine Einströmung des letzten über dem Grunde und ein Ausströmen des ersten in der Oberfläche eintreten kann. Um in dieser Beziehung die Messungen zu vervollständigen, wurden noch die Cabeo'schen Stäbe, so wie auch andre Apparate angewendet, um die Strömungen in verschiednen Tiefen zu ermitteln (§ 15 im zweiten Theil dieses Handbuchs). Diese Stäbe sind cylindrische Stangen, die durch Gewichte, welche in ihre untern Enden eingelassen sind, sich im stehnden Wasser senkrecht stellen und so tief eintauchen, dafs sie auf den Stellen, wo

sie gebraucht werden, den Grund noch nicht berühren. Alle Wasserschichten, die sie durchschneiden, wirken daher gleichmäfsig auf sie ein und sie nehmen die mittlere Geschwindigkeit derselben an. Bei den Versuchen in Swinemünde bewegten sie sich allerdings etwas langsamer, als die oben beschriebenen Schwimmer, doch war der Unterschied nie bedeutend und entsprach immer nur demjenigen, den man auch in oberländischen Strömen bemerkt. Entgegengesetzte Strömungen in verschiednen Wassertiefen kamen also hier nicht vor, dafs solche aber zuweilen, und zwar höchst auffallend, unter andern Verhältnissen stattfinden, ist bereits § 11 erwähnt.

Es mufs noch eines andern Schwimmers erwähnt werden, der die Richtung der Strömung an einer bestimmten Stelle angeben sollte. Derselbe bestand aus einem starken hölzernen Klotz, der in vertikaler Richtung durchbohrt und mit einer hindurchgesteckten Stange versehn war. Eine Leine verband das untere Ende der letztern mit einem schweren Stein. Dieser wurde auf der westlichen Seite des Kopfes der Westmole versenkt. Er lag so tief, dafs der Klotz stets unter Wasser blieb und nur das obere Ende der Stange daraus hervorragte. Auf beiden Molen waren Marken angebracht, welche die Richtung bezeichneten, in welche diese Stange sich stellte, wenn sie von keiner Strömung getroffen wurde. Je nachdem sie nach der einen oder der andern Seite auswich, konnte man also vom Ufer aus die Richtung des Stroms erkennen. Der Versuch sollte zur Beobachtung der Küstenströmung bei verschiednen Windesrichtungen dienen, er führte jedoch zu keinem Resultat, weil diese Schwimmer nebst den Steinen wiederholentlich entwendet wurden.

Unter den verschiednen Untersuchungen über die Strömungen in ausgedehnten Wasserflächen, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, und über die dadurch veranlafsten Kies- und Sandablagerungen verdient vorzugsweise diejenige angeführt zu werden, die der Ingenieur Plocq in Dünkirchen in Betreff des östlichen Theils des Canals zwischen England und Frankreich, so wie auch des angrenzenden Theils der Nordsee angestellt hat*).

Eben so wichtig ist es auch, die Strömungen zu kennen,

*) Annales des ponts et chaussées 1863. I. pag. 103.

welche dauernd oder periodisch im Hafen selbst stattfinden. Durch diese allein kann in einem sandigen Ufer, oder einem solchen, das aus Alluvial-Boden besteht, die Mündung offen erhalten werden. Damit dieses aber geschieht, muſs die Strömung hinreichend stark sein, und es kommt also darauf an, sowol die hindurchtretende Wassermasse, als auch die Geschwindigkeit zu ermitteln, mit der sie zeitweise abflieſst.

Die Wassermassen, welche Ströme bei ihren verschiednen Anschwellungen abführen, lassen sich ungefähr aus der Ausdehnung und der Beschaffenheit ihrer Gebiete beurtheilen. (Theil I, § 6 und 26). Directe Messungen sind indessen jedenfalls vorzuziehn, wenn die Gelegenheit sich bietet, solche bei verschiednen Wasserständen vorzunehmen. Die Geschwindigkeiten, mit welchen die Ausströmung in die See erfolgt, sind aber von den Profilen der Mündungen abhängig, die man bei kleinern Flüssen passend verändern und namentlich beschränken kann. In vielen Fällen wird die Wassermenge so groſs, daſs dieselbe durch den an beiden Seiten mit wasserfreien Kais versehenen Hafen nicht hindurch zu führen ist, ohne den Schiffsverkehr periodisch zu unterbrechen, und wenn der Strom vollends zu Zeiten groſse Eismassen abführt, so muſs ein besonderer Binnenhafen dargestellt werden, den die Strömung nicht berührt.

Etwas anders und zwar günstiger gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Strom, bevor er in den Hafen tritt und in das Meer ausmündet, einen ausgedehnten See durchflieſst. Da dieser eine bedeutende Wassermasse aufnehmen kann, ohne stark anzuschwellen, so gleicht er in gewissem Grade die verschiednen Wasserstände aus, und die Durchströmung des Hafens wird weniger heftig, setzt sich dagegen längere Zeit hindurch fort. Auſserdem wirkt ein solcher See zugleich als Klärungs-Bassin. Der Sand, Kies und selbst feinere erdige Stoffe, die der Strom mit sich führt, schlagen darin nieder, und der Hafen, wie auch die Mündung desselben ist denjenigen Verflachungen entzogen, welche das aus dem Binnenlande herabkommende Material veranlassen könnte.

Wenn dieser Binnensee dem Hafen so nahe liegt, und zugleich sein Wasserspiegel sich so wenig über denjenigen des Meers erhebt, daſs bei Anschwellungen des letztern, mögen solche

vom Fluthwechsel oder auch nur vom Winde herrühren, das Wasser bis zu ihm rückwärts fliefst, so wird sowol die Einströmung, wie auch der spätere Abflufs verstärkt. In welcher Weise die Stärke dieser Strömungen sich annähernd ermitteln läfst, soll später, wenn von der Durchströmung der Häfen die Rede sein wird, näher bezeichnet werden.

Die Verhältnisse gestalten sich noch weniger einfach, wenn der Binnensee nicht nur durch eine, sondern durch mehrere Ausflüsse mit dem Meer in Verbindung steht, wie etwa das Stettiner Haff, das durch die Peene, die Swine und die Dievenow ausmündet. Besonders wichtig wird alsdann die Frage, welche Mündung die stärkste sei, und wie die Capacitäten derselben sich zu einander verhalten. Die Rechnungen werden alsdann schwieriger und die Resultate um so zweifelhafter, als die absoluten Gefälle der verschiednen Ausflüsse keineswegs immer dieselben bleiben, da theils nach der Gestaltung der Küste das Meer durch den Wind vor einer Mündung höher anschwillt, als vor der andern, theils aber auch das Wasser in einem weit ausgedehnten Binnensee in der Richtung des Windes fortgetrieben wird, so dafs beispielsweise in dem Stettiner Haff der Wasserstand am östlichen Ufer zuweilen 1 Fufs höher ist, als am westlichen und umgekehrt.

Die Untersuchungen, die der Anlage eines Hafens vorangehn müssen, haben ferner den Wellenschlag zum Gegenstand. Schon oben (§ 6) wurde nachgewiesen, dafs derselbe von der Entfernung des in der Richtung des Windes gegenüber liegenden Ufers abhängig ist, und dafs er sich am stärksten zeigt, wenn das Ufer rechtwinklig gegen diese Richtung gekehrt ist. Man hat sich oft bemüht, die gröfste Höhe, bis zu der die Wellen gegen das Ufer schlagen, an der Vegetation auf demselben zu erkennen, doch ist dieses Erkennungszeichen sehr unsicher, denn wenn auch solche Pflanzen, die nicht tief wurzeln, von den Wellen ausgespült und abgerissen werden, so überziehn sie dennoch leicht in der Zwischenzeit, während die See ruhiger ist, wieder das unter dieser Grenze befindliche Ufer, wie sie auch häufig auf dem niedrigen Strande, der bei mäfsigem Sturm von den Wellen schon überspült wird, nicht nur vereinzelt vorkommen, sondern ihn sogar stellenweise vollständig überdecken. Dagegen empfiehlt Th. Stevenson bei neuen Hafenanlagen die Oberfläche des Bodens

unter Wasser zu untersuchen. Er sagt, wenn in der Tiefe von einigen Faden der Boden mit Schlamm oder Moder bedeckt ist, so darf man sicher voraussetzen, dafs ein starker Wellenschlag daselbst nicht vorkommt.

Besonders wichtig ist bei jeder Hafen-Anlage die Entscheidung der Frage, ob Verflachungen zu besorgen sind. Dieselben rühren zum Theil von dem aus dem Binnenlande durch Ströme oder Bäche, zum Theil aber auch von dem seeseitig durch Küstenströmung und Wellenschlag, sowie zuweilen auch durch den Fluthstrom herbeigeführten Sand und Kiesmassen oder auch feinerer erdigen Stoffe her. Letzeres geschieht jedoch nur, wenn die Fluth, ehe sie das Ufer oder die Mündung des Stroms oder Hafens erreicht, über ausgedehnte Watte oder über alten aufgeschwemmten Boden tritt, den der Wellenschlag auflockert, so dafs die gelösten feinen Stoffe im Wasser schweben und dem Strom folgen. Dieses ist beispielsweise an der Deutschen Küste der Nordsee der Fall (§ 13). Wie man die Masse der im Wasser schwebenden Erde messen und hieraus die Höhe der jährlichen Aufschlickung bestimmen kann, ist bereits § 12 mitgetheilt worden.

In gleicher Weise läfst sich auch die Quantität der im Flufswasser schwebenden feinen Stoffe und zwar bei den verschiednen Wasserständen finden, aber viel schwieriger ist es, den Sand und Kies, den der Strom seiner Mündung zuführt, auch nur annähernd zu bestimmen, da diese meist in der Nähe des Grundes bleiben, zum Theil sogar auf demselben fortgeschoben werden oder rollen. Jedenfalls rührt der Sand von den abbrechendenn Ufer her, wenn solche auch oft weit entfernt sind. Aufserdem ist aber auch zu seiner Fortbewegung eine gewisse Geschwindigkeit erforderlich. Diejenigen Ströme bedrohn also am meisten einen Hafen, die bei starkem Gefälle von sandigen Ufern eingeschlossen sind. Wenn sie in Niederungen entspringen und solche durchfliefsen, so führen sie theils an sich schon weniger Sand und Erde mit sich, theils aber lassen sie bei Anschwellungen diese auch noch auf den inundirten Wiesenflächen fallen, woher ihr Wasser viel reiner ist. Aus der nähern Untersuchung der Flufs- und Strombetten und ihrer Ufer, so wie aus den Gefällen kann man daher, wenn keine andre Erfahrungen vorliegen, schon einigermafsen auf die Verflachungen schliefsen, die sie in einem

neu zu bildenden Hafen veranlassen werden. Dabei ist aber noch zu berücksichtigen, dafs die Klärung des Wassers im Hafen um so vollständiger erfolgt, also die Masse der Niederschläge daselbst um so gröfser wird, je gröfser die Querprofile sind, weil in diesen die Geschwindigkeit sich um so mehr vermindert. Sichere Erfahrungen hierüber lassen sich jedoch nur in einem bereits ausgeführten Hafen machen, und zwar durch die Ausdehnung der daselbst jährlich erforderlichen Baggerungen.

Was endlich die Verflachungen betrifft, welche in und vor den Mündungen durch das von der Küstenströmung und dem Wellenschlage herbeigeführte Material veranlafst werden, so mufs man solche immer befürchten, wenn vor den Ufern ein Strand sich befindet. Fehlt dieser, und steigt das Ufer aus gröfserer Tiefe steil auf, in welchem Fall es jedesmal aus Felsboden besteht, so fehlt auch das gelöste Material, welches in den Hafen getrieben oder als Barre davor abgelagert werden könnte. Es tritt alsdann noch die eigenthümliche Erscheinung ein (§ 6), dafs selbst bei stark bewegter See die Wellen nicht brechen auch keine Schaumbildung statt findet.

Wenn dagegen das Meeresufer aus aufgeschwemmten, oder überhaupt aus solchem Boden besteht, der von den Wellen, vielleicht auch durch das ausquellende Wasser gelöst und abgebrochen wird, so fehlt der Strand nie, und das Material, woraus dieser besteht, treibt längs der Küste fort und lagert sich überall ab, wo dasselbe unterbrochen ist, also auch in den Hafen- und Strom-Mündungen. Dieses Material ist vorzugsweise Sand und Kies, wo aber das Ufer aus Kreide besteht, wird auch solches abgebrochen. Bei heftigen Stürmen stürzen grofse Massen desselben herab. Die Kreidestücken selbst zertheilen sich bald, wenn sie durch die Wellen hin- und hergeworfen werden, so fein, dafs sie im Wasser schwebend, wie der Thon, in gröfserer Tiefe niedersinken. Man findet sie daher nur unmittelbar vor den Bruchstellen oder in geringer Entfernung von denselben. Dagegen ist die Kreide gemeinhin nesterweise von Feuerstein-Lagen durchsetzt. Diese stürzen auch herab, zerbrechen dabei in faustgrofse Stücke, und wenn sie beim fortgesetzten Rollen über einander auch ihre Kanten abstofsen und nach und nach abgerundete Formen annehmen, vielleicht endlich bei den unausgesetzten An-

griffen sich in feinen Kies oder Sand verwandeln, so besteht doch der Strand auf meilenweite Entfernungen nur aus ihnen. Sehr auffallend zeigt sich diese Erscheinung auf dem östlichen Theil des Canals bei Dover und Calais, und in gleicher Art auf der westlichen Seite der Halbinsel Jasmund auf Rügen, wie auch auf dem nördlichen Ufer von Wittow bei Arcona.

Um dieses, so wie auch das feinere Material, welches den Strand bildet, von der Hafenmündung abzuhalten, mufs es, bevor es diese erreicht, aufgefangen werden, und hierzu dienen buhnenartige Einbaue, die man in die See hinausführt und zwar auf derjenigen Seite des Hafens, welche der vorherrschenden Küstenströmung zugekehrt ist. Dieses Mittel ist auf der nördlichen Seite des Canals vielfach angewendet, und grofse Massen Feuerstein sind vor diesen Werken abgelagert. Man hat dadurch zugleich einen andern wesentlichen Vortheil erreicht, nämlich das Ufer wird dadurch auch gegen den Angriff der Wellen geschützt, bricht also weniger ab.

Auch bei uns hat man in neuerer Zeit ähnliche Anlagen vor den Kreideufern ausgeführt, die indessen mit Hafenbauten in keiner Beziehung standen, dagegen hat man schon seit dem Anfange dieses Jahrhunderts vor sandigen Ufern mehrfach den Sand durch sorgfältige Ausbildung der Vordünen aufgefangen und in neuerer Zeit werden zu diesem Zweck auch Einbaue in die See ausgeführt, während durch jene wie durch diese zugleich die Ufer geschützt werden, also das Hinzukommen neuer Sandmassen verhindert oder doch gemäfsigt wird.

Im Folgenden soll noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs man diese Anlagen bis zur unmittelbaren Nähe der Häfen nicht fortsetzen darf, um nicht die Verbreitung des Strandes, die hier gemeinhin gar nicht verhindert werden kann, sogar zu befördern.

Endlich sind die Untersuchungen auch auf die Beschaffenheit des Untergrundes auszudehnen. Für die Bauten im Binnenhafen ist hierüber nichts zu erwähnen, da solche sich nicht von Kaimauern, Bohlwerken und andern Anlagen an Strömen und Canälen unterscheiden, grofse Vorsicht ist aber in dieser Beziehung bei den Hafendämmen nothwendig, die frei in die See treten. Constructionen mit Fundirung auf Pfahlrosten kommen hier nicht leicht vor, da die Errichtung der Fangedämme zu

grofse Schwierigkeiten bieten würde. In neuerer Zeit werden dagegen die Uebermaurungen meist auf Steinschüttungen gestellt, die entweder mit Böschungen versehn oder in Holzwände eingeschlossen sind. Dabei ist vorzugsweise dafür zu sorgen, dass nicht daneben Vertiefungen sich bilden, welche Unterspülungen veranlassen könnten. Der Wellenschlag begründet in dieser Beziehung weniger Besorgnifs, da derselbe den freiliegenden Sand bis zu einer gewissen Tiefe wohl auflockert, jedoch nicht forttreibt. Dieses geschieht aber in sehr bedenklicher Weise durch die Strömung. Die Wirkung der letztern hat indessen auch ihre Grenze, und wenn die Schüttung einige Jahre hindurch gelegen hat, so darf man annehmen, dafs Vertiefungen und Sackungen nicht mehr eintreten werden. Dabei kommt noch in Betracht, dafs gemeinhin die Tiefe, bis zu der man Hafendämme hinausführt, sich nicht dauernd erhält, vielmehr oft schon nach kurzer Zeit sich vermindert. Die Gefahr einer schädlichen Vertiefung des Grundes besteht also meist nur während einiger Jahre.

Die Bauten vor tiefem Wasser können indessen noch in andrer Weise in Folge der Beschaffenheit des Untergrundes beschädigt und sogar zerstört werden. Im Loch Feochan im nördlichen Schottland, ohnfern Oban, wurde zum Verladen von Steinen auf 120 Fufs Länge ein massiver Damm auf einem anscheinend sehr festen Untergrund ausgeführt, der aus grobem Kies, Sand und Thon bestand und mit 12füfsiger Böschung abfiel. Starke Mauern umgaben den Damm und dazwischen wurde der Abraum der Steinbrüche angeschüttet. Er überragte das Hochwasser bei Springfluthen, während bei niedrigem Wasser der Grund davor nur wenig überfluthet war. Nachdem man diesen Damm längere Zeit hindurch benutzt und oft grofse Steinmassen darauf gelagert hatte, kam er plötzlich im Januar 1844 bei mäfsiger Belastung in Bewegung und glitt in zwei Stunden 150 Fufs weit in eine solche Tiefe herab, dafs seine Krone 23 Fufs unter Niedrigwasser stand, und der daraufgestellte Krahn sogar ganz unter Wasser sich befand *). Bei nährer Untersuchung

*) Thom. Stevenson, Design and Construction of harbours. 2. Aufl. 1874, pag. 134.

ergab sich nun, dafs die obere Kieslage nur 6 Fufs stark war, und dafs der darunter befindliche Schiefer in seinen Lagen nach der See hin stark abfiel. Diese Beschaffenheit des Untergrundes war vor der Ausführung des Baues ganz unbeachtet geblieben.

Wenn der Untergrund dagegen bis zu gröfserer Tiefe sehr locker ist, so mufs man auf eine starke Compression oder seitliche Ausweichung desselben sich gefafst machen. Die Hafendämme an der Mündung des Mississippi versanken so stark, dass sie zu zwei Drittheilen ihrer Höhe in den Grund eindrangen. Auch an den Hafendämmen von Triest wurden ähnliche Erfahrungen gemacht.

§ 38.

Richtung und Weite der Mündung.

Die Richtung und Lage der Hafenmündung ist so zu wählen, dafs sie sowol für die aus- und einlaufenden Schiffe, als auch für die im Hafen liegenden die gröfste Bequemlichkeit bietet. Zunächst mufs dabei die Tiefe berücksichtigt werden, und in dieser Beziehung wird man dem Hafen eine Mündung geben, die sich dem tiefsten Fahrwasser anschliefst, welches nach der offnen See führt, und das voraussichtlich auch dauernd erhalten werden kann. Wenn in dieser Beziehung die Richtung nicht bestimmt gegeben ist, und man zwischen verschiednen Linien wählen soll, so verdient diejenige den Vorzug, welche die kürzeste ist. Hieraus ergiebt sich schon, dafs man im Allgemeinen die Hafenmündung normal gegen das Ufer legen, oder sie direct der See zukehren wird. Sollte die Stelle, wo der Hafen zu erbauen ist, noch willkührlich ausgewählt werden dürfen, was wohl nicht leicht geschieht, so wäre vorzugsweise die Entfernung desselben von dem tiefen Wasser der See zu berücksichtigen, doch darf dabei nicht unbeachtet bleiben, dass die Hafenanlage zur wesentlichen Aenderung der bestehnden Verhältnisse Veranlassung giebt.

In dieser Beziehung hört man oft tadeln, dafs gerade an der Stelle ein Hafen angelegt sei, wo die Sandbänke am weitesten vortreten, während in geringer Entfernung die gröfsere Tiefe dem

Ufer viel näher ist. Namentlich habe ich solchen Vorwurf wiederholentlich in Betreff des Swinemünder Hafens gehört, wo die Fünffaden-Linie etwa 800 Ruthen vor dem natürlichen Ufer liegt, während dieselbe anderthalb Meilen weiter ostwärts, bei Misdroy, wo der Vietziger See nebst der an denselben anschliefsenden Niederung sich bis nahe an die See erstreckt, nur etwa 300 Ruthen von der Küste entfernt ist. Man beachtet dabei indessen nicht, dafs die Sandablagerungen gerade durch die Ausmündung des Hafens und die zur Erhaltung der Tiefe in demselben nothwendige Durchströmung veranlaſt werden. Wo das Ufer und der Strand durch nichts unterbrochen ist, wo also der Sand, den der Küstenstrom herbeiführt, ohne Behinderung weiter getrieben wird, da giebt es auch keine Veranlassung zu seiner Anhäufung. Wohl aber tritt eine solche ein, sobald man die Hafenmündung in den Strand einschneidet, und dieselbe mit vortretenden Hafendämmen einschliefst. Der Sand lagert sich vor den letztern ab, da der bisherige Weg gesperrt ist, und er wird zugleich weiter seewärts geführt, woher auch hier Untiefen entstehn. Zum Theil tritt er auch in die Mündung ein, und wenn der ausgehnde Strom ihn von hier zurücktreibt, so dehnt sich dadurch die davorliegende Barre wieder aufs Neue weiter aus.

Dagegen ist die Richtung des Swinemünder Hafens in andrer Beziehung allerdings in ungewöhnlicher Weise gewählt worden. Dieselbe ist nämlich nicht dem tiefen Wasser zugekehrt, stimmt vielmehr sehr nahe mit derjenigen Richtung überein, in welcher das westliche Ufer sich hinzieht. Die Situationszeichnung Fig. 101 giebt diese auffallende Anordnung nicht vollständig zu erkennen, weil das Ufer weiterhin eine Curve bildet und in der Entfernung von drei Viertel Meilen gegen den letzten Theil der östlichen Mole nur einen Winkel von 10 Graden macht, und bald dahinter mit demselben sogar parallel läuft. Indem der Verkehr von Swinemünde sich vorzugsweise auf die Nordsee-Häfen und den Atlantischen Ocean bezieht, und nur ein kleiner Theil der einlaufenden Schiffe aus den Ostsee-Häfen kommt, so veranlaſt die gewählte Richtung der Molen keineswegs einen bedeutenden Umweg, vielmehr stimmt diese Richtung nahe mit derjenigen überein, welche die meisten Schiffe wählen müssen, um an der östlichen Seite von Rügen vorbeizukommen. Auf einen

geringen Umweg wird in der Seeschiffahrt gewöhnlich auch kein erhebliches Gewicht gelegt, der damit verbundene Uebelstand bezieht sich aber darauf, dafs bei solcher sehr abweichenden Richtung der Hafenmündung derselbe Wind, der die Schiffe bis vor den Hafen bringt, zum Einsegeln in denselben oft nicht passend ist. Auch beim Aussegeln wiederholt sich dasselbe nachtheilige Verhältnifs. Durch Benutzung von Dampfböten zum Aus- und Einbringen der Schiffe kann man freilich in den meisten Fällen leicht Hülfe schaffen, aber dieses Mittel ist immer mit Kosten verbunden, welche den Verkehr drücken und beeinträchtigen. Für die grofse Mehrzahl der Schiffe, die aus dem Sunde kommen, oder dahin segeln, ist die gewählte Richtung weniger nachtheilig, mehr aber für diejenigen, welche nach den ostwärts belegenen Preufsischen oder Russischen Häfen bestimmt sind. In Betreff der Erleichterung der Schiffahrt wäre es daher im Allgemeinen vortheilhafter gewesen, wenn der Hafen mehr in nördlicher Richtung seine Mündung erhalten hätte. Hierzu kommt aber noch eine andre, sehr nachtheilige Folge, die bereits zu vielfachen Bedenken Veranlassung gegeben hat. Sollte es nämlich einst sich als nothwendig herausstellen, die Hafendämme zu verlängern, um über diejenigen Untiefen die Schiffe fortzubringen, die vielleicht vor der Mündung sich später ablagern, so würde man nicht wissen, wie man die Molen weiter führen soll. Bei der spätern Beschreibung des Hafens wird hiervon ausführlicher die Rede sein.

Derselbe Uebelstand, dafs nämlich die ankommenden Schiffe bei demjenigen Winde, der sie bis vor den Hafen bringt, in den letztern nicht einlaufen können, war für Marseille noch nachtheiliger, insofern der dortige Verkehr grofsentheils nach dem Orient gerichtet ist. Die Schiffe segelten also bei östlichen Winden an. Anderthalb Deutsche Meilen südwärts von Marseille, dem Leuchtthurm Planier gegenüber, eröffnet sich aber die grofse Bucht, in der Marseille liegt. Sobald die Schiffe das Cap Croisette nebst den davor liegenden Inseln passirt hatten, mufsten sie nordwärts steuern, und wenn sie auf diesem Wege das Cap Pharo erreichten, waren sie gezwungen, in südöstlicher Richtung in das alte Hafen-Bassin einzulaufen. Diese Verlegenheiten, die hier nicht durch künstliche Anlagen, sondern durch die natürlichen

Verhältnisse veranlafst waren, erwiesen sich als überaus störend, und zwar um so mehr, da auf dem felsigen Boden und zwischen den vielfach daraus vortretenden Klippen das Ankern nicht gefahrlos war. Man hatte sich dadurch geholfen, dafs dem Cap Pharo gegenüber mehrere grofse Buoyen ausgebracht waren, an welche die ankommenden Schiffe gelegt wurden, um hier den zum Einsegeln günstigen Wind abzuwarten, oder um in den Hafen bugsirt zu werden. Durch die neue grofsartige Hafen-Anlage auf der Westseite der Stadt ist dieser Uebelstand bereits in hohem Maafse vermindert. Die Schiffe können, indem sie von Süden ankommen, und das Cap Pharo passirt haben, in nordöstlicher Richtung den Vorhafen vor dem Bassin la Joliette erreichen, und wenn der Wellenbrecher zur Ausführung gekommen wäre, für den sich im Anfange des Jahrs 1862 die Handelskammer in Marseille ausgesprochen hatte, so würde das Ansegeln der Schiffe noch mehr erleichtert sein.

Die erwähnten Umstände sind keineswegs die einzigen, welche man bei der Anordnung der Hafenmündung zu berücksichtigen hat. Auch die Richtung des herrschenden Windes, sowie die der heftigsten Stürme verdient Beachtung. Im Allgemeinen kommt es mehr darauf an, dafs die Schiffe ohne Gefahr und sicher einlaufen, als dafs sie jeder Zeit in gleicher Weise ausgehn können. Wenn das Schiff bei starkem Sturm vor dem Hafen ankommt, und noch mehr, wenn es wegen erlittener Havarien denselben aufsuchen mufs, so kann es nicht auf einer ungeschützten Rhede warten, bis der Wind diejenige Richtung annimmt, wobei das Einsegeln möglich wird. Die Benutzung von Dampfböten zum Bugsiren ist bei hohem Seegange auch schwierig und zuweilen unthunlich. Ganz anders verhält es sich mit dem Ausgehn der Schiffe. Wenn auch der Abgang von Personen-Dampfböten gewöhnlich auf bestimmte Stunden festgesetzt ist, und ohne besonders dringende Veranlassung eine Verzögerung nicht eintreten darf, so wird man die Schiffe doch nicht der Gefahr aussetzen, auf den Hafendämmen oder den Untiefen oder Klippen vor dem Hafen zu stranden. Sie werden daher wenigstens so lange zurückgehalten, bis der Sturm etwas nachläfst. Aufserdem aber ist das Ausgehn eines Dampfboots auch weniger bedenklich, als das eines Segelschiffs, weil es durch

die Maschine bewegt wird, die es vom Winde unabhängig macht. Wenn aber auch der entgegenstehnde Wind zugleich mit starker Einströmung verbunden ist, und es daher nur langsam fortschreitet, so bleibt seine Geschwindigkeit gegen das Wasser doch sehr grofs, und es kann daher scharf gesteuert und von den Untiefen frei gehalten werden.

Bei Segelschiffen ist die Richtung, in welcher dieselben den Weg fortsetzen sollen, von wesentlicher Bedeutung. Derselbe Wind, mit dem sie aus dem Hafen auslaufen, mufs sie auch weiter führen, damit sie nicht, sobald sie letztern verlassen haben, gezwungen sind, auf offener See einen günstigen Wind abzuwarten.

Die Ansichten, wie die Hafenmündung gegen die herrschenden und die heftigsten Winde und Stürme zu richten sei, sind sehr verschieden. Zuweilen wird es als besonders vortheilhaft empfohlen, die Mündung so zu legen, dafs sie am wenigsten vom Winde getroffen wird. Dieses ist in vielen Fällen ganz unmöglich und widerspricht der vorstehnden wichtigern Bedingung. Mehrfach hat man verlangt, die Richtung der Mündung solle von der des herrschenden Windes mindestens 6 Strich ($67\frac{1}{2}$ Grade) abweichen, weil es alsdann noch möglich ist, dafs bei diesem Winde Schiffe ausgehn können. Th. Stevenson hält es für das Passendste, die Mündung direct der Richtung der heftigsten Stürme, wie sich dieselbe aus der Ausdehnung der davor liegenden Wasserflächen ergiebt (§ 6), entgegen zu kehren, weil dadurch das Einkommen der Schiffe unter den ungünstigsten Verhältnissen noch am sichersten sei. Diese Ansicht ist ohne Zweifel sehr beachtungswerth, doch dürfte die Frage, wie die Mündung gegen die herrschenden oder die heftigsten Winde zu richten sei, überhaupt nur in Betracht kommen, wenn es sich um einen Hafen handelt, vor dem keine Barre liegt und die Bildung einer solchen auch nicht zu besorgen ist, denn andern Falls bleibt die Darstellung und Erhaltung eines tiefen und geraden Fahrwassers nach der offenen See ohne Zweifel die Hauptbedingung.

Zuweilen bilden sich vor den Hafenmündungen heftige Strömungen, die namentlich bei starkem Fluthwechsel die Geschwindigkeit von einer Deutschen Meile und wohl noch mehr in einer Stunde annehmen. Diese Geschwindigkeit ist gewiss für die Schiffahrt sehr störend, und verhindert oft das Einsegeln

vor dem Eintritt des Hochwassers, wenn die vorhandene Tiefe dieses auch schon gestatten möchte. Beim Hochwasser mäſsigt sich die Strömung und hört ganz auf, bevor sie die entgegengesetzte Richtung annimmt. Sie ist aber insofern nachtheilig, als sie theils das Schiff soweit versetzt, daſs es vielleicht bei mäſsigem Winde gar nicht einkommen kann, theils aber veranlaſst sie auch beim Einsegeln in den Hafen an der Stelle, wo sie aufhört, ein starkes Drehn des Schiffs, indem dieses in seinem hintern Theil von ihr noch getroffen wird, während der Bug ihrer Einwirkung bereits entzogen ist. In welcher Weise das Schiff gesteuert werden muſs, damit es von dem Strom nicht versetzt, vielmehr in der passendsten Richtung in den Hafen geführt wird, ist schon früher (§ 32) mitgetheilt worden.

Diese Strömung erschwert besonders das Einlaufen der Schiffe und wird für dieselben sogar gefährlich, wenn Sand- und Kiesbänke auf einer oder der andern Seite vortreten, und die gerade Richtung des Fahrwassers unterbrechen. Es ist auch sonst zuweilen nicht möglich, das Schiff allein mit Hülfe des Ruders und der Segel bis in den Hafen zu bringen, und wenn man alsdann nicht ankern will, so läſst man das Schiff in den Wind auflaufen, damit es demjenigen Hafenkopf sich nähert, der auf der Windseite liegt. Auf diesem muſs Alles vorbereitet sein, um von hier aus sogleich ein Tau entgegen werfen zu können, an welchem das Schiff aufgewunden, oder wenn es nur klein ist, eingeschleppt wird. In manchen Französischen Häfen am Canal geschieht dieses sehr häufig, und besondere Leute versehn diese Hülfsleistung mit groſser Geschicklichkeit und Uebung, so daſs das Schiff sicher und schnell eingebracht wird. In diesem Fall ist es aber nothwendig, daſs das Schiff dem Hafenkopf sich nähern kann, und daſs man auch im Stande ist, den Hafendamm bei heftigem Sturm seiner ganzen Länge nach zu begehn. In Swinemünde wie in manchen andern unserer Häfen war solche Hülfsleistung bisher nicht ausführbar, weil eines Theils die Steinschüttungen zu weit vortraten, und andrerseits die Dämme auch so niedrig und so wenig geschützt waren, daſs bei Stürmen ein Betreten derselben höchst gefährlich und oft ganz unmöglich blieb.

Sowol das Einsegeln, als das Ausgehn der Schiffe wird wesentlich erleichtert, wenn der Hafen mit zwei Mündungen

versehn ist, oder wenn ein isolirter Damm davor liegt, und auf beiden Seiten von diesem sich Zugänge befinden. Wenn der Wind oder die Strömung die Benutzung des einen verhindert, so ist die des andern gewöhnlich nicht nur möglich, sondern sogar ziemlich bequem. Nichts desto weniger ist eine solche Anordnung, obwohl sie vielfach empfohlen wird, doch vor jedem Ufer bedenklich, wo grofse Sand- und Kiesmassen vorbeitreiben, oder wo in andrer Art Verflachungen sich leicht bilden. Die Erfahrung hat bei Cette auch bereits gezeigt, dafs eine dieser Mündungen in kurzer Zeit ihre frühere Tiefe verlor (§ 34).

Für das Ein- und Aussegeln der Schiffe erreicht man beinahe denselben Vortheil, wenn der Vorhafen in ein weites Bassin verwandelt wird, die beiderseitigen Hafendämme aber an ihren Enden gegen einander treten und die Mündung stark verengen, um das Einlaufen der Wellen möglichst zu beschränken. Es bildet sich dadurch eine Gestaltung des Hafens ähnlich derjenigen, die bei Kingstown gewählt ist (Fig. 102). In solchen können die Schiffe in sehr verschiednen Richtungen, also auch bei verschiednen Winden ein- und ausgehn, ohne dafs sie der Gefahr ausgesetzt sind, die vortretenden Hafenköpfe zu berühren, oder in dem Bassin auf den Grund zu laufen. Wenn jedoch der Hafen durch eintreibenden Sand verflacht werden kann und ein Flufs oder Strom durch ihn in die See mündet, so darf die Wirksamkeit der Strömung nicht geschwächt werden. Es kommt also vorzugsweise darauf an, den Strom möglichst zusammenzuhalten, und zu diesem Zweck leitet man ihn längs der concaven Seite des einen Hafendamms nach der Mündung. Die tief gehenden Schiffe sind alsdann ohnerachtet des weiten Bassins gezwungen, diese Richtung inne zu halten, während das Bassin, wenn es gehörige Tiefe hat, für kleinere Schiffe einen Ankerplatz bildet und zugleich zur Mäfsigung des Wellenschlags wesentlich beiträgt.

Bisher war nur vom Ein- und Aussegeln der Schiffe die Rede, bei der Anordnung der Hafenmündung mufs indessen auch darauf Rücksicht genommen werden, dafs der Wellenschlag der See sich nicht mit Heftigkeit in den Hafen fortsetzt. Welche Mittel man anwenden kann, um die eintretenden Wellen zu mäfsigen, ist bereits mitgetheilt worden (§ 33), es leidet indessen keinen Zweifel, dafs von der Richtung der Mündung diese Be-

wegung gleichfalls abhängig ist. Besonders wenn die Hafendämme parallel geführt sind, und sich an ihren äufsern Enden nicht einander nähern, so pflegen die in der Richtung derselben anlaufenden Wellen ungeschwächt sich weit fortzusetzen. Stimmt diese Richtung dabei noch mit der der stärksten Stürme überein, so sind die im Hafen liegenden Schiffe einem überaus heftigen Wellenschlag und sonach einer grofsen Gefahr ausgesetzt. In dieser Beziehung ist die Mündung des Swinemünder Hafens sehr zweckmäfsig angeordnet. Ihre Richtung trifft schon in der Entfernung von wenig Meilen das Ufer der Insel Usedom. Heftige Wellen treten also nicht in den Hafen. Die stärksten Stürme sind hier die nordöstlichen, und bei solchen schlugen zwar früher die Wellen über die Ost-Mole, auch erzeugten die vor der Mündung vorbeilaufenden Wellen eine heftige Bewegung im äufsern Theil des Hafens, aber dennoch hatte diese nicht die Stärke, welche sie bei einer nordöstlichen Mündung haben würde.

Bei Häfen, die an Küstenstrecken liegen, wo grofse Sand- und Kiesmassen vorbeitreiben, pflegt man ferner darauf Rücksicht zu nehmen, dafs die Hafenmündung nicht so gerichtet ist, dafs sie dieselben leicht auffängt. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, dafs dieser Gegenstand eine sehr verschiedenartige Auffassung zuläfst, und dafs es daher schwierig ist, mit Sicherheit darüber zu entscheiden, nichts desto weniger kann man bei Betrachtung mancher Hafenmündungen die Ueberzeugung nicht unterdrücken, dafs, wenn es Aufgabe gewesen wäre, den Hafen nebst seiner Mündung recht schnell zur Verlandung zu bringen, die Anordnung nicht zweckmäfsiger hätte gewählt werden können, als sie wirklich gewählt ist. In Betreff des Hafens Ramsgate sprach der Englische Ingenieur Rendel mit eben diesen Worten sich auch aus, als er über seine Ansicht in Betreff der zweckmässigsten Anordnung der Hafendämme befragt wurde, und namentlich tadelte er den von der Nordseite vor die Mündung tretenden Flügel. Die Richtung desselben ist indessen nur insofern nachtheilig, als eine dauernde Ausströmung hier fehlt. Von dieser abgesehn würde der Vorwurf in gleicher Weise auch die Ostmole vor Swinemünde treffen, neben der die bedeutende Tiefe sich doch gebildet und bisher erhalten hat.

Die im Ramsgater Hafen wiederkehrenden Verflachungen

scheinen auch zu bestätigen, dafs dergleichen Wirkungen hier in der That eintreten, es müssen nämlich in jedem Jahre 200000 bis gegen 300000 Tons, also ungefähr 20000 bis 30000 Schachtruthen gebaggert werden.*) Indem nun der Vorhafen 34 Acres oder 9700 Quadratruthen enthält, so ergiebt sich, dafs derselbe jährlich im Durchschnitt um 2 bis 3 Fufs sich verflacht, was allerdings ungewöhnlich stark ist.

Obwohl der Hafen von Ramsgate keineswegs als Muster gelten kann, so ist er doch in vielfacher Beziehung wichtig und zugleich eins der ersten Beispiele einer grofsartigen Hafen-Anlage, wobei weder eine natürliche Bucht, noch die weite Mündung eines Flusses, die schon früher als Nothhafen gedient hatte, durch künstliche Mittel gesichert und dadurch für die Bequemlichkeit der Schiffahrt gesorgt wurde, vielmehr ist hier vor einem ziemlich geraden Ufer an der offenen See der Hafen dadurch geschaffen, dafs man durch weit vorgeschobne Hafendämme ein geräumiges Bassin bildete. Es dürfte sich daher empfehlen, eine kurze Beschreibung dieses Hafens hier einzuschalten. Fig. 115 zeigt die Situation desselben in seinem gegenwärtigen Zustande.

Schon in früherer Zeit unter Eduard VI und unter der Königin Elisabeth war von der Anlage eines Hafens an dieser Stelle die Rede, um vor der Mündung der Themse den Schiffen einigen Schutz zu gewähren. Mehrfache Projecte wurden aufgestellt. 1713 erbaute man einen einzelnen Hafendamm oder Pier, der längere Zeit bestand, und hinter dem bei dem heftigen Sturm 1748 einige Schiffe Schutz fanden. Vorzugsweise wurde aber auf die Erfahrung grofses Gewicht gelegt, dafs dieser Damm keine bedeutende Verlandung neben sich veranlafst hatte. Hieraus folgerte man, dafs auch in einem abgeschlossnen Hafen in dieser Gegend die Tiefe sich erhalten werde.

1749 wurde endlich auf das Gutachten von Sachverständigen der Bau des Hafens beschlossen, und zwar entschied man sich für diejenige Lage und Richtung der Hafendämme, welche diese auch wirklich erhalten haben. Dieselben sind noch in sofern wichtig, als sie sich steil aus dem Grunde ohne flache seeseitige Böschung

*) Nach dem vom Capitain Vetch im Jahre 1853 dem Parlamente erstatteten Bericht.

erheben. Der Zimmermeister King, der die Pfeiler der alten Westminster-Brücke in London in Caissons erbaut hatte, (Theil I, § 49), unternahm es, dieselbe Construction auch bei diesen Hafendämmen anzuwenden, und wenn in neuerer Zeit sich allerdings vielfache Beschädigungen daran zu erkennen gegeben haben, die sogar ein theilweises Unterfahren nothwendig machten, so haben die Dämme sich doch bisher erhalten und man glaubt gegenwärtig die Gefahr beseitigt. Der Fluthwechsel beträgt zur Zeit der Springfluthen 16 bis 18 Fuſs, und in todten Fluthen 12 Fuſs. Die Dämme erheben sich $8^1/_2$ Fuſs über das höchste Wasser und sind durchschnittlich 24 Fuſs hoch, sie treten also bei Springfluthen bis zu ihren Sohlen über das Niedrigwasser heraus, nur an den Köpfen liegt der Grund tiefer. Die Dämme sind in der Basis etwa 36 Fuſs breit und steigen 6 Fuſs senkrecht an. Von hier ab sind sie sowol auf der Binnen-, als auf der Auſsenseite mit der geringen Böschung von $4^1/_2 : 1$ eingezogen und haben in ihrer Krone, die einen bequemen Weg bildet, die Breite von 23 bis 24 Fuſs. Auf ihrer äuſsern Seite steht eine starke Brustmauer.

1773 war der Hafen in dieser Weise vollendet, und es stellte sich bald heraus, daſs die Verflachung darin übermäſsig stark ist. Smeaton schlug daher vor, das Bassin durch einen Zwischendamm in der Art zu theilen, daſs der vordere Theil Vorhafen bliebe, der hintere dagegen Dock oder Flotthafen und zugleich Spülbassin würde. Diese Anordnung wurde gewählt und ist auch seitdem beibehalten. In der Mitte des Zwischendamms bei *F* erbaute man die Dockschleuse, die den Zugang zum hintern Bassin bildete.

Indem bei östlichen Winden eine starke Bewegung im Hafen eintrat, so wurde 1787, also kurze Zeit vorher, ehe Smeaton mit der dauernden Leitung dieser Bauten beauftragt war, die Ausführung des schrägen Flügels *AC* beschlossen, der sich vom Kopf des östlichen Hafendamms bis vor den westlichen hinzieht. 1791 war dieser Bau beendigt, wobei schon die Taucherglocke angewendet wurde. Gleichzeitig kam das Trockendock *G* im Flotthafen zur Ausführung. Im Jahr 1806 wurde die zweite Dockschleuse *E*, nämlich die westliche, dem Verkehr übergeben. Das Patent-Slip *D* auf der östlichen Seite des Vorhafens ist 1838 erbaut.

Die vorstehnden historischen Notizen umfassen nur die wichtigsten Anlagen, und es sind dabei die verschiednen Erneuerungen und Verbesserungen derselben unerwähnt geblieben. Ueber den gegenwärtigen Zustand des Hafens wäre Folgendes zu bemerken.

Die Hafenmündung ist 200 Fufs Englisch oder 194 Rheinländische Fufs weit. Bevor der schräge Flügel an den Kopf des östlichen Damms angebaut wurde, hatte sie die Weite von 300 Fufs. Dieser Flügel ist es, dem man zum Theil die starke Verschlammung des Hafens zuschreibt. Die erste Fluth, die den Hafen trifft, kommt nämlich aus dem Canal, und dieser tritt der Flügel als eine inclinante Buhne entgegen. Aber gerade die erste Fluth ist in Betreff der Verflachungen, und namentlich durch das gröbere Material am nachtheiligsten, weil die ausgedehnten davor liegenden Bänke alsdann noch den niedrigsten Wasserstand über sich haben, und am stärksten von den Wellen angegriffen werden.

Auf dem Kopf dieses Flügels bei *A* befindet sich ein kräftiges Gangspill, mit dem sowol den ein- als auslaufenden Schiffen Hülfe geleistet werden kann. Auf dem Kopf des westlichen Hafendamms steht ein Leuchtthurm *B*. An den innern Seiten beider Hafendämme sind 5 Treppen *C* angebracht, die sich jedesmal in etwas zurückspringenden Mauernischen befinden, also von den Schiffen nicht berührt werden.

Der Flotthafen, der zugleich als Spülbassin dient, ist durch einen Querdamm vom Vorhafen getrennt. In diesem Damm befinden sich zwei Dockschleusen, deren jede ein Paar Stemmthore hat, die nach innen aufschlagen, also den Wasserstand der Fluth im Flotthafen zurückhalten. Die westliche Schleuse *E* ist 40 Fufs, die östliche *F* dagegen nur 30 Fufs Englisch weit. Ueber beide führen Drehbrücken. Das Trockendock *G* steht durch einen verschliefsbaren Canal unter dem Querdamm mit dem Vorhafen in Verbindung, so dafs es zur Zeit des Niedrigwassers vollständig oder doch grofsentheils ohne Benutzung von Pumpen trocken gelegt werden kann.

Was die Anstalten zur Beseitigung der Verflachungen im Vorhafen betrifft, so müssen zunächst die Spülschleusen erwähnt werden. Es sind deren acht vorhanden, die zusammen die lichte Weite von 92 Fufs Engl. haben. Zwei derselben be-

finden sich dicht neben einander auf der östlichen Seite des Querdamms bei H, alsdann folgt eine einzelne bei I, zwischen den beiden Dockschleusen liegen zwei solche bei K und L, eine einfache wieder bei M und endlich eine am westlichen Ende des Querdamms bei N. Die Einrichtung dieser Spülschleusen ist nicht die gewöhnliche, wobei die Oeffnung plötzlich frei gestellt wird. Sie werden vielmehr durch Schütze geschlossen. Eine andre Anordnung liefs sich hier auch nicht treffen, weil man die Oeffnungen schliefsen mufs, während noch eine heftige Strömung hindurchgeht. Dieses war nothwendig, insofern das Spülbassin zugleich Flotthafen ist, und sonach der Wasserstand in demselben nur so tief gesenkt werden darf, dafs die darin liegenden Schiffe den Grund nicht berühren. Es ist augenscheinlich, dafs hierdurch die Wirkung der Spülung aufserordentlich geschwächt wird. Ueberdiefs tritt durch die Verbindung der beiden Zwecke des hintern Bassins noch der wesentliche Nachtheil ein, dafs der Wasserverlust beim Spülen in der nächsten Fluth wieder ersetzt werden mufs, dafs also grofse Quantitäten trüben Wassers in den Flotthafen geführt werden, welche eine rasche Erhöhung des Bodens veranlassen, die nur durch häufiges Baggern beseitigt werden kann.

Die Wirkung der Spülung erwies sich bald als ungenügend, und man bemühte sich daher, nur einzelne Stellen des Vorhafens, also einzelne Fahrwasser in demselben offen zu erhalten. Zu diesem Zweck sind neben den wichtigsten Spülschleusen Leitdämme hinausgeführt, welche die Figur nachweist, doch auch sie haben keineswegs die Absicht vollständig erfüllt. Man mufste also noch eine kräftige Baggerung einführen. Schon sehr frühe wurde ein Dampfbagger hier in Thätigkeit gesetzt, und später ist noch ein zweiter besonders wirksamer hinzugekommen, aber sowol durch diese Räumung, als auch durch das erwähnte Spülen kann man nur ein weites mittleres Fahrwasser, das zu den Dockschleusen führt, und zwei solche zur Seite der beiden Hafendämme offen erhalten. Bei dem gewöhnlichen Niedrigwasser verwandelt sich der Vorhafen in einen Sumpf, aus welchem die mit punktirten Linien eingeschlossnen, zum Theil recht hohen Bänke hervortreten.

Schliefslich mag erwähnt werden, dafs zur Zeit des niedrigsten Wassers in der Hafenmündung der Wasserstand 9 Fufs, und über den Schlagwellen der beiden Schleusen 2 Fufs beträgt.

Bei den Hafenmündungen kommt ferner die Weite derselben in Betracht. Man ist im Allgemeinen immer bemüht, diese auf das geringste zulässige Mafs zu reduciren, damit die Wellenbewegung im Hafen nicht zu stark wird, doch mufs sie für das bequeme Aus- und Einlaufen der Schiffe genügen. Aufserdem ist zuweilen dabei auch die Vorfluth zu berücksichtigen, wenn gröfsere Ströme durch den Hafen ausmünden, wie bei Swinemünde.

Das geringste Maafs der Breite, welches die Schiffahrt fordert, läfst sich nicht allgemein bezeichnen, es ist zum Theil durch die Gröfse der Schiffe, noch mehr aber durch die Lage des Hafens bedingt. Wo die Wasserfläche vor einem Hafen sich stets in Ruhe befindet, wo sie also weder durch Wellenschlag, noch auch durch Strömung in Bewegung gesetzt wird, ist es leicht, die Schiffe durch Oeffnungen hindurchzuführen, die nur wenig breiter als sie selbst sind, wie dieses bei Schiffsschleusen geschieht. Wenn aber im Gegentheil heftiger Seegang davor statt findet, oder ein starker Strom vorbeizieht, so dafs die Schiffe nicht genau in die Richtung der Mündung gebracht werden können, oder vielleicht schräge einsegeln und doch soweit von den Hafenköpfen entfernt bleiben müssen, dafs sie bei den unvermeidlichen Seitenbewegungen nicht darauf getrieben werden, so ist eine viel gröfsere Breite dringend geboten.

Es dürfte wenig Häfen geben, deren Mündung so weit ist, wie die des Swinemünder Hafens. An der Stelle, wo die westliche Mole aufhört, ist diese, in der Wasserfläche gemessen, 1060 Fufs von der östlichen Mole entfernt. Die Rinne von mehr als 18 Fufs Tiefe hat jedoch nur den dritten Theil dieser Breite. Es ergiebt sich aus der Geschichte dieses Baues, dafs man schon vor dem Beginn desselben besorgt war, der Abflufs des Wassers möchte durch zu grofse Verengung der Mündung behindert werden, und dieser Umstand gab Veranlassung, dafs man die bezeichnete Breite wählte oder beibehielt. Hierdurch ist dieser Hafen dem Schicksal der in Hinter-Pommern belegnen entgangen, welches auch der von Neufahrwasser theilt, die sämmtlich mit langen schmalen Hälsen versehn sind. Bei ihm ist also die Gelegenheit geboten, dafs er in seinem äufsern Theil in einen Bassin-Hafen verwandelt werden kann, wenn einst die westliche Mole eben so weit, wie die östliche verlängert, und hier mit

einem Flügel* versehn wird, der die Mündung bis auf das kleinste zuläfsige Maafs verengt.

Der Hafen von Colbergermünde hat in seiner Mündung die Weite von 100 Fufs, doch nähern sich die beiderseitigen Molen weiter landwärts bis auf 80 Fufs. Eben dasselbe war auch bei den alten Häfen Rügenwaldermünde und Stolpmünde der Fall, die in ihrer Verbindung mit der See beziehungsweise 84 und 108 Fufs, weiter einwärts dagegen stellenweise nur 70 Fufs weit waren. Dem Hafen Neufahrwasser hat man bei seiner letzten Verlängerung in der Mündung die Weite von 300 Fufs gegeben, während derselbe in seiner ganzen Länge durchschnittlich noch nicht die Hälfte dieser Breite hat.

In den drei Häfen des Cösliner Regierungsbezirks war die angegebene Weite zu geringe, woher nicht selten die einkommenden Schiffe auf die Molen liefen. Um den Gegenstoss weniger gefährlich zu machen, hatte man die Molen sowol in den Köpfen, als auch weiterhin bis zum Anschlufs an die Bohlwerke mit sogenannten Gordungs-Wänden umgeben, das heifst mit Pfahlwänden, die, durch angebolzte Zangen in sich verbunden, auch gegen die Molen abgesteift waren, und die vor dem Fufs der Molen standen. Beim Anstofsen der Schiffe wurden zwar häufig einzelne Pfähle abgebrochen, aber dieser Schaden blieb doch viel geringer, als wenn die Schiffe auf die Molen aufgelaufen wären.

Der bisherige Hafen von Pillau, der, wie erwähnt, nicht unmittelbar an der offnen See, vielmehr am sogenannten Tief oder an der breiten Verbindung zwischen See und Haff liegt, war in seiner Mündung nur 144 Fufs weit, etwa 15 Ruthen rückwärts maafs seine Weite sogar nur 120 Fufs. Das Einsegeln in diesen Hafen war insofern unbequem, als die Schiffe, die von der See aufkamen, vor demselben eine ziemlich scharfe Wendung machen und alsdann gewöhnlich die nicht unbedeutende Strömung durchschneiden mussten, die sich unmittelbar vor ihm concentrirte. Als der östliche Hafendamm in dieser Weise so eben verlängert war, geschah es freilich, dafs ein grofses Schiff dagegen getrieben wurde und eine leichte Havarie erlitt. Dieses war indessen allein die Folge der Unaufmerksamkeit des Lootsen, und später ist es stets gelungen, die Schiffe unbeschädigt hineinzubringen, indem

sie von dem nördlichen Ufer des Tiefs etwas entfernt gehalten und so gewendet wurden, dafs sie ohne weitere Aenderung des Curses in den Hafen einfahren konnten. Seitdem jedoch in neuster Zeit die Verladung der Frachten in grofsen Dampfschiffen üblich geworden ist, und solche von 200 bis 300 Fufs Länge auch in Pillau vielfach einlaufen, ist die Weite der Mündung, so wie auch der ganze Hafen nicht mehr genügend. Im Folgenden wird von den bereits in der Ausführung begriffnen Aenderungen eingehend die Rede sein.

Es mögen hier noch die Weiten der Mündungen einiger auswärtigen Häfen mitgetheilt werden, deren Maafse freilich zum Theil weniger sicher sind, insofern die Angaben darüber in den verschiednen Schriften keineswegs übereinstimmen.

Die am Canal zwischen Frankreich und England, und zwar an der Südseite belegnen Häfen stimmen mit den Ostsee-Häfen in sofern überein, als sie bei der starken Verflachung ihrer Mündungen nach und nach weiter hinausgeführt und daher mit langen und parallelen Hafendämmen versehn sind. Man hat diese auch zuweilen bei den spätern Verlängerungen wieder etwas von einander entfernt, um das Einkommen der Schiffe zu erleichtern, obwohl gerade diese Anordnung den Wellenschlag im Hafen wesentlich verstärkt. Die Maafse sind Rheinländische Fufse.

Die Einfahrt in den Hafen von Ostende ist 192 Fufs, bei Dünkirchen, obwohl hier eine Station für Kriegsschiffe sich befindet, nur 230 Fufs weit. Bei Calais lassen die Hafendämme einen freien Raum von 290 Fufs zwischen sich, sie entfernen sich aber an ihrer Mündung auf 350 Fufs. Der Hafen von Boulogne ist 225 Fufs breit, derjenige von Tréport 176 Fufs, der von Dieppe 208, von St. Valery 112 und von Fécamp im Innern 145 Fufs und in der Mündung 214 Fufs.

Der Eingang in den Hafen vom Havre, der nicht am offnen Meer liegt, ist 210 Fufs weit, derjenige von Lorient nur 190 Fufs. Der Hafen von Cette hat, wie bereits erwähnt, zwei Eingänge. Die Breite des östlichen mifst 640, und die des westlichen 960 Fufs. Die Mündung des Hafens von Agde beträgt 320 Fufs, die des alten Hafens von Marseille 260 und die des Hafens la Ciotat 287 Fufs.

Was die Englischen Häfen betrifft, so mag noch angeführt

werden, dafs derjenige bei Dover eine Mündung von 165 Fufs, bei Ramsgate, wie erwähnt, von 194 Fufs, bei Great-Grimsby von 445 Fufs, bei Sunderland von 330 Fufs, bei Leith von 240, bei Howht von 320 und bei Kingstown von 680 Fufs hat. Die sehr grofse Breite der Mündung des letzten Hafens war dadurch geboten, dafs die im Irischen Canal segelnden Schiffe zur Zeit heftiger Stürme hier Schutz finden sollten. Sie segeln den Hafen alsdann aber von der Ostseite an, und passiren die Mündung in sehr schräger Richtung. Es ist auch bereits mitgetheilt worden (§ 33), dafs es ursprünglich Absicht war, die beiden Hafendämme einander mehr zu nähern, und dafs mehrfache Bedenken über die Frage erhoben sind, ob die gewählte Weite nicht zu grofs sei und eine zu starke Wellenbewegung im Hafen veranlasse.

Wenn aus vorstehenden Angaben ein Schlufs gezogen werden soll, so möchte sich wohl rechtfertigen, das Maafs für die zu wählende Weite der Mündung eines Handelshafens, der am offnen Meer liegt und von grofsen Schiffen besucht wird, auf 200 bis 300 Fufs anzunehmen. Kleinere Weiten dürften nur zulässig sein, wenn die Rhede geschützt ist, und zu gröfsern wird man sich nur verstehn, wenn der Hafen ein Bassin-Hafen ist, in welchen die Schiffe in sehr abweichenden Richtungen einsegeln, oder wenn man zugleich für kräftige Ein- und Ausströmung sorgen mufs.

§ 39.

Erhaltung der Tiefe.

Es giebt nur wenige Häfen, in denen keine Verflachungen statt finden. Diese fehlen nur, wenn weder solche Flüsse oder Bäche sich in sie ergiefsen, die Sand oder Kies oder feinere erdige Stoffe ihnen zuführen, noch auch die Küstenströmung solches Material hineintreibt. Doch auch dieses genügt noch nicht, um Verflachungen vollständig zu verhindern, vielmehr mufs überdiefs dafür gesorgt sein, dafs weder durch die Umschliefsungs-Wände, noch über dieselben fort Erde, Kehricht oder sonstige Unreinigkeiten zugeführt werden.

Solche günstige Umstände treffen nicht leicht zusammen, und daher mufs man fast alle Häfen periodisch ausbaggern, um die nöthige Tiefe ihnen zu erhalten. Man ist oft der Ansicht, dafs diese kostbare und lästige Arbeit sich vermeiden läfst, wenn eine hindurchgehende Strömung schon die Ablagerungen verhindert, oder solche wieder beseitigt, wenn sie zeitweise eingetreten sind. Für diesen Zweck müfste die Strömung aber ungewöhnlich stark und zugleich auch dauernd sein, oder sich doch in kurzen Zwischenzeiten immer wieder aufs Neue einstellen. Ein Beispiel dieser Art ist der Hafen Nieuwen-Diep (Fig. 28), bei dem in Folge der eigenthümlichen Fluthverhältnisse zweimal in jedem Tage die starke Durchströmung des Hafens erfolgt. In welcher Weise dieselbe sich bildet, soll im Folgenden mitgetheilt werden.

In der Regel ist die Wassermenge, die den Hafen durchströmt, vergleichungsweise gegen das grofse Profil, welches man demselben geben mufs, viel zu unbedeutend, als dafs sie eine kräftige Spülung veranlassen könnte. Der Hafen mufs nämlich hinreichende Tiefe haben, damit die Schiffe, auch wenn sie beladen sind, den Grund nicht berühren, und zugleich mufs er so breit sein, dafs Schiffe in mehreren Reihen an den Kais liegen können, ohne die Bewegung andrer zu hindern. Hierdurch wird die Geschwindigkeit der Strömung so geringe, dafs sie die Tiefe nicht erhalten kann. Diese, im Innern der Häfen erfolgenden Verflachungen lassen sich indessen, so oft sie eintreten, durch Baggern beseitigen.

Um einen Hafen gegen Verflachungen zu sichern, die von erdigen und andern Stoffen herrühren, welche vom Seitenterrain ihm zugeführt werden, mufs derselbe mit festen und dicht schliefsenden Ufereinfassungen versehn sein. Besonders ist dieses in derjenigen Höhe erforderlich, die von den Wellen getroffen wird. Bei dem anhaltenden Wechsel des Wasserstandes, den letztere veranlassen, wird der Sand und selbst der Kies, der zur Hinterfüllung benutzt ist, und noch mehr der Thon und die Erde fortgespült. Am stärksten geschieht dieses im Niveau des Wassers und einige Fufse darunter. Eine Undichtigkeit der Wand in gröfserer Tiefe ist, wenn auch immer nachtheilig, dennoch nicht von so grofser Bedeutung. Man kann sonach die hier befindlichen Ufer keineswegs in der einfachen Weise sichern, wie etwa die

Ufer der oberländischen Flüsse, wenn sie von keinem heftigen Strom getroffen werden. Die Anwendung von Flechtzäunen, oder von Senkfaschinen, die man gegen Pfählchen lehnt, sind hier unstatthaft, weil sie theils zu vergänglich, vorzugsweise aber, weil sie nicht hinreichend dicht sind, um das Durchfallen der Erde zu verhindern. Selbst Bohlwerke, wenn sie nicht mit einer gut schliefsenden Spundwand versehn sind, genügen nicht. Die Spundwand darf aber auch vor Kai-Mauern nicht fehlen. Wenn man nicht in dieser Art für die nöthige Sicherheit gesorgt hat, wiederholt sich fortwährend, und vorzugsweise bei heftigen Stürmen, die Erscheinung, dafs die Hinterfüllung mit dem etwa darüber befindlichen Pflaster in der Breite bis zu einer Ruthe und auf mehrere Ruthen Länge einstürzt, und oft bis unter das Wasser versinkt. Man ist alsdann zu immer neuen Nachfüllungen und Ausbesserungen gezwungen, um die Kais nutzbar zu erhalten, und aufserdem stürzen diese Erd- und Sandmassen in den Hafen, die man daraus nur durch Baggern wieder entfernen kann.

Endlich werden auch zuweilen Verflachungen dadurch veranlafst, dafs ähnliche Massen mit den Bächen oder den Strafsenrinnen, oder auch wohl durch unmittelbares Einschütten des Kehrichts in den Hafen kommen. Wenn aber kahle Sandberge, oder unbedeckte Sandschellen neben dem Hafen sich befinden, so treibt auch der Wind grofse Massen desselben hinein. Namentlich pflegt letzteres auf den Lagerplätzen für Holz zu geschehn. Beim Aufschleppen desselben wird die Grasnarbe, die sich vielleicht gebildet hatte, vollständig zerstört, die Fläche lockert sich also fortwährend auf und bleibt kahl, woher der Wind den gelösten Sand leicht fafst und in den Hafen treibt. Die Wirkung des Windes ist dabei oft so grofs, dafs selbst die aufgesetzten Haufen Scheitholz umstürzen, indem der Sand darunter forttreibt, und es läfst sich hieraus auf die Mässe schliefsen, die bei jedem heftigen Sturm in den Hafen fliegt, wie dieses früher in Stolpmünde oft geschah. Es ist sehr schwierig, in dieser Beziehung eine Aenderung der Verhältnisse herbeizuführen, da die Besitzer solcher Plätze durch die Forderung, dafs diese gedeckt werden sollen, sich in der Benutzung ihres Eigenthums beeinträchtigt und zur Ausführung der betreffenden Anlagen nicht für verpflichtet halten. Der Nachtheil, den sie dem Hafen zufügen,

läfst sich aber bei den vielfachen Ursachen der Verflachung selten mit voller Sicherheit nachweisen. Es ist indessen schon ein wesentlicher Gewinn, wenn man, was doch überall der Fall sein sollte, wenigstens einen hinreichend breiten Weg rings um den ganzen Hafen, als zu demselben gehörig, vorbehalten hat. Die Hafenverwaltung mufs alsdann für die Befestigung dieses Weges sorgen, und wenn derselbe beim Aufschleppen des Holzes beschädigt wird, so läfst sich die Wiederherstellung unbedingt fordern. Wenn aber das anstofsende Privat-Grundstück kahle Sandschellen enthält, und von diesen aus, wie sich leicht erkennen läfst, der Sand auf jenen Weg treibt, und denselben theilweise überdeckt und seine Benutzung erschwert, so ist der Eigenthümer von jenen verpflichtet, diese Sandmassen alsbald wieder zu beseitigen. Bei gehöriger Aufsicht pflegt es immer zu gelingen, diesen und ähnlichen Uebelständen vorzubeugen, wenn sie auch durch langjährige Vernachlässigung bereits tief eingewurzelt sind. Sehr schädlich ist in solchen Fällen eine gewifs unpassend ausgeübte Humanität, indem man dem Privatmann die Ausübung seines Gewerbes oder seines Handels nicht erschweren will, wenn auch das öffentliche Interesse dabei augenscheinlich in viel höherem Grade leidet.

Die vorstehenden Bemerkungen bezogen sich auf die Erhaltung der Tiefe im Hafen selbst, von viel gröfserer Bedeutung ist aber die Frage, wie seine Mündung und das Fahrwasser, welches von ihm nach der offenen See führt, gegen Verflachungen geschützt werden kann. Hier sind Baggerungen wegen der Bewegung der See nicht leicht auszuführen und es kommt also darauf an, Verflachungen überhaupt zu verhindern, oder dafür zu sorgen, dafs solche, wenn sie sich gebildet haben, durch eine hindurch geleitete recht kräftige Strömung möglichst bald wieder sich beseitigen lassen.

Um in dieser Beziehung die passendste Anordnung zu treffen, mufs man zunächst untersuchen, ob die Verflachungen aus dem Binnenlande, oder von der Seeseite, also vom Strande herrühren. Der letzte Fall mag hier zunächst erörtert werden.

Schon oben (§ 13) wurde gezeigt, dafs in dem aus Sand oder Kies bestehenden Strande eine Hafenmündung nur durch kräftige Ausströmung offen erhalten werden kann. Von

der Stärke derselben ist die Tiefe des Fahrwassers abhängig, wenn nicht etwa die Verflachungen von den Niederschlägen aus dem Binnenwasser herrühren. Die drei Seehäfen im Cösliner Regierungsbezirk waren früher in sehr übereinstimmender Weise angeordnet, und aus der Vergleichung der Tiefen in ihren Mündungen mit der Ausdehnung der Flufsgebiete ergab sich, wie jene von diesen abhängig sind. Die Persante sammelt ihre Quellen auf einem Gebiet von etwa 50 Quadratmeilen, die Wipper mit der Grabow auf 42, und der Stolp-Flufs auf 31 Quadratmeilen. Die mittleren Tiefen vor den betreffenden Häfen entsprachen ungefähr diesen Flächen, nämlich in Colbergermünde durchschnittlich 12 Fufs, in Rügenwalder-Münde 10 Fufs und in Stolpmünde $8^1/_2$ Fufs. Nach heftigen Stürmen oder nach lange anhaltenden Ausströmungen verminderten oder vergröfserten sich diese Tiefen um mehrere Fufse. Gegenwärtig haben die Verhältnisse sich geändert, da die Mündung des Stolpmünder, wie auch des Rügenwalde-Mündener Hafens weit herausgeschoben sind. Die erste, die bei der Anlage des Vorhafens 22 Fufs betrug, hat sich indessen schon ziemlich dem früheren Maafs wieder genähert, und steht bereits derjenigen von Colbergermünde nach.

Die ausgehende Strömung welche die von den Wellen und vom Küstenstrom vor dem Hafen aufgeworfene Sand- oder Kiesbank, die Barre genannt, durchbrechen, und die darin gebildete Oeffnung, oder das Seegatt, offen erhalten soll, läfst sich zunächst verstärken, wenn man die abfliefsende Wassermasse vergröfsert. Hierzu bietet sich zwar nur selten, aber doch zuweilen Gelegenheit. Das wichtigste Beispiel dieser Art ist der Hafen Nieuwen-Diep oder Willemsoord in Nord-Holland. Unter den dortigen eigenthümlichen Fluthverhältnissen war es möglich, durch einen weit in die Suider-See hinausgeführten Damm einen grofsen Theil des Ebbe-Stroms abzufangen und durch den Hafen abfliefsen zu lassen. Im Folgenden wird die nähere Beschreibung dieser Anlage gegeben werden. Aufserdem kann man häufig die wechselnden Wasserstände der See, besonders wenn sie von Fluth und Ebbe herrühren, durch Aufräumung des Strombetts und durch Bildung von ausgedehnten Bassins benutzen, um gröfsere Wassermassen durch die Mündung ein- und ausfliefsen zu

lassen. Hiervon werden gleichfalls im Folgenden Beispiele mitgetheilt werden.

Derselbe Zweck läfst sich zuweilen auch in andrer Weise erreichen, wenn es möglich ist, einen Flufs des Binnenlandes, der bisher einen andern Ausflufs hatte, demjenigen Wasserlauf zuzuweisen, der die schiffbare Mündung bilden soll. Hierbei kommen diejenigen Binnenseen in Betracht, welche durch verschiedne Abflüsse mit dem Meer in Verbindung stehn. Sobald man eine oder mehrere dieser Verbindungen sperrt, so wird der Strom in den allein übrigbleibenden verstärkt. Wenn die erstern aber auch nicht geschlossen werden, so verstärkt sich dennoch dieser Strom, sobald man die Mündung so verbessert, dafs eine gröfsere Wassermasse, als bisher hindurch fliefst. Man darf aber diese Verbesserung keineswegs allein durch Einschränkung des Strombetts herbeizuführen versuchen, da die ausfliessende Wassermenge keine gegebene ist, vielmehr einem andern Abflufs sich zuwendet, sobald sie hier ein neues Hindernifs vorfindet (Theil II § 25).

Als man einen bequemen Schiffahrtsweg von Stettin nach der See eröffnen wollte, wurde zunächst in sorgfältige Ueberlegung genommen, welcher der drei Ausflüsse aus dem Haff, nämlich die Peene, die Swine oder die Dievenow zu wählen sei. Man entschied sich mit vollem Recht für die Swine*), der durch die Verbesserungen der Mündung eine gröfsere Wassermenge zugewiesen ist, als sie früher abführte.

Demnächst läfst sich aber die Strömung und deren Angriff auf die Sandablagerungen durch Vergröfserung der Geschwindigkeit des abfliefsenden Wassers verstärken, wenn dessen Menge auch unverändert bleibt. Zu diesem Zweck ist das Bett des Stroms oberhalb seiner Mündung möglichst zu erweitern und zu vertiefen, damit sich hier das Gefälle vermindert. Die Mündung selbst ist aber in regelmäfsige Ufer einzufassen und, soweit es geschehn darf, auch einzuengen, damit das hier con-

---

*) Der Erbauer des Swinemünder Hafens, Günther, theilt die früheren Verhältnisse, wie die Vorarbeiten und die Ausführungen sehr eingehend mit in den „Bauausführungen des Preufsischen Staates“. I. Band, Seite 81.

centrirte Gefälle eine starke Strömung veranlafst. Endlich ist es auch von wesentlichem Nutzen, wenn man die Ufer hier etwas krümmt. Die stärkste Strömung bildet sich alsdann neben dem concaven Ufer und in tangentialer Richtung desselben wird die Bank am heftigsten angegriffen.

Nach diesen Grundsätzen wird bei unsern Hafenbauten an der Ostsee vorgegangen, und sehr erhebliche Erfolge treten dabei jedesmal ein, wenn dieselben auch im Lauf der Zeit durch die weitere Ausbildung der Barren sich nach und nach wieder vermindern. Die in solcher Weise behandelte Mündung des Swinemünder Hafens zeigt aber auch, dafs Anlagen dieser Art für sehr lange Zeit die nöthige Fahrtiefe sichern können. Als 1818 die Erbauung der Molen oder der Dämme an beiden Seiten der neuen Mündung begonnen wurde, konnten nur kleine Fahrzeuge von 6 bis 7 Fufs Tiefgang einlaufen. Die Tiefe vergröfserte sich aber schon während des Baues, der 1823 beendigt wurde, und seitdem hat sie noch bedeutend zugenommen, so dafs sie seit etwa 30 Jahren in der früheren Einseglungs-Linie 22 Fufs mifst, während sie in der nunmehr bezeichneten neuen Fahrrinne sogar 25 Fufs beträgt. Obwohl in keiner Weise die Besorgnifs sich begründet, dafs diese günstigen Verhältnisse sobald sich ändern könnten, so wird unfehlbar eine andre Ausführung dieses noch sicherer verhindern. Um nämlich das Aufgehn der Seeschiffe nach Stettin zu erleichtern und das beschwerliche Durchfahren der vielfach und scharf gekrümmten Swine zu vermeiden, wird oberhalb Swinemünde ein grofser Schiffahrts-Canal, der Caseburger Durchstich, ausgehoben, der direct in das Haff führt. Die Verbindung des letztern mit dem Hafen verkürzt sich dabei um eine volle Meile. Auf diesem Wege wird in Zukunft der Zuflufs des Wassers aus dem Haff in den Hafen wesentlich erleichtert und der Strom in der Mündung nach der See verstärkt werden. Dazu kommt aber noch, dafs auch bei anschwellender See die Einströmung in das Haff begünstigt und sonach bei der spätern Ausströmung unter gleichen Witterungsverhältnissen eine gröfsere Wassermasse durch den Hafen abfliefsen wird.

In dieser Beziehung sind ausgedehnte Wasserflächen, die oberhalb der Häfen liegen, und mit diesen in naher Verbindung stehn, von grofser Bedeutung. Auch in Meeren, die

keinem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind, wie die Ostsee, veranlaſst der Wind häufig Anschwellungen von 1, und zuweilen sogar von 4 bis 5 Fuſs, wie oben (§ 10) nachgewiesen ist. Das Anschwellen der See erfolgt gemeinhin sehr schnell, woher eine kräftige Einströmung eintritt, die so lange sich fortsetzt, bis das Gefälle in der Mündung verschwindet. Ist nun die Verbindung mit dem Binnensee lang, vielfach gekrümmt und von mäſsiger Profilweite, zugleich aber auch der Binnensee von groſser Ausdehnung, so erhebt sich der letztere nicht bis zum höchsten Stande, den die See annimmt, weil diese bei der kurzen Dauer heftiger Stürme schon früher zu sinken beginnt. Die eintretende Wassermasse ist also geringer, als sie sein würde, wenn in der Verbindung eine stärkere Strömung sich darstellen könnte. Die möglichste Verkürzung und Regulirung dieser Verbindungsrinne trägt also wesentlich zur Verstärkung der Ausströmung, also zur Darstellung und Erhaltung der Tiefe in und vor der Hafenmündung bei.

Der eingehende Strom führt keineswegs nur reines Wasser, vielmehr treibt mit ihm auch eine groſse Masse Sand von der Seeseite her in den Hafen, und fällt zu Boden, sobald die Geschwindigkeit sich mäſsigt und in dem dahinter liegenden Binnensee endlich ganz aufhört. Aus diesem Grunde bilden sich sowol im Hafen, wie auch in dem aufwärts belegenen Strombett Verflachungen, die man aber gewöhnlich durch Baggern beseitigen kann, da hier der Wellenschlag nicht mehr die Aufräumungs-Arbeiten verhindert.

Durch den von der See eingetriebnen Sand ist bei Pillau das alte Fahrwasser nach Königsberg durch den sogenannten Kolk vollständig geschlossen, und wie weit der Sand in solchem Fall getrieben wird, zeigt sich vor der obern Mündung der Swine am Fuſs der Lebbiner Berge. Bei den hier häufig wiederholten Baggerungen ergiebt sich aus den beigemengten Muscheln, daſs nur Seesand gehoben wird, der also durch die $2\frac{1}{2}$ Meilen lange Swine hindurchgetrieben ist.

Die Einströmung hört nach einiger Zeit sowol im Hafen selbst, wie auch oberhalb desselben ganz auf, da aber schon vorher die Geschwindigkeit sich sehr ermäſsigt hatte, so führt das Wasser alsdann nicht mehr groſse Sandmassen mit sich. Der

Stillstand ist von kurzer Dauer und unmittelbar darauf tritt die Ausströmung ein, die Anfangs nur mäfsig ist, bei dem weitern Sinken des Wasserspiegels der See sich aber schnell verstärkt und nach Maafsgabe der eingeströmten, wie auch der inzwischen von oben her zugeflofsnen Wassermasse lange Zeit hindurch anzuhalten pflegt. Diese ist es vorzugsweise, die das Fahrwasser aufräumt.

Hierbei mufs noch eine auffallende Erscheinung erwähnt werden, die man vor der Mündung des Swinemünder Hafens bemerkt. Wie Fig. 101 zeigt, tritt die westliche Mole, die der vorherrschenden Küstenströmung zugekehrt ist, bedeutend weniger vor, als die östliche, und ist auf den gröfsten Theil ihrer ursprünglichen Länge an der Westseite versandet. Der noch vortretende Theil fängt aber sehr scharf die dagegen treibende Küstenströmung auf, und das Wasser fliefst aufserhalb der Mole und zwar parallel zu derselben der offenen See zu. Es behält diese Richtung auch bei, und in Folge dessen hat sich eine lang gestreckte Sandbank in der Richtung dieser Mole gebildet, die auch in neuerer Zeit noch an Ausdehnung zugenommen hat. Gleich nach Erbauung der Molen existirte dieselbe nicht. und die gröfseren Schiffe konnten scharf um den Kopf herum westwärts segeln, was gegenwärtig nur Fischerböten möglich ist. Der Nachtheil, der hieraus der Schiffahrt erwachsen ist, hat wenig Bedeutung, da die tiefe Einseglungs-Linie diese Bank nicht berührt. aber unbedingt ist dieselbe insofern von wesentlichem Nutzen, als sie den Eintritt des Küstenstroms in die Hafenmündung, und somit auch das starke Eintreiben des Sandes in dieselbe verhindert.

Wenn aus Vorstehendem sich auch ergiebt, dafs durch angemefsne Regulirung und Einschliefsung der Hafenmündung das Eintreiben des Sandes und Kieses und die Bildung einer davor sich ablagernden Barre für längere Zeit verhindert werden kann. so bleibt doch immer zu besorgen, dafs später eine ähnliche Verflachung vor der neuen Mündung wieder sich bilden möchte, und man alsdann gezwungen wäre, die Molen noch weiter seewärts herauszuführen. Abgesehn von den grofsen Kosten einer solchen Verlängerung leidet dabei der Hafen aber auch so sehr, dafs man sich hüten mufs, zu diesem Mittel zu greifen, so lange in andrer Weise noch Abhülfe geschafft werden kann.

Der Hafen Neufahrwasser zeigt, wie durch solche vielfach wiederholten Verlängerungen der Molen der Schiffsverkehr übermäfsig erschwert wird, wenn auch hier die Versandungen keineswegs allein durch die Küstenströmung veranlafst wurden. Der Hafen besteht in einem schmalen Canal, der durchschnittlich 15, stellenweise aber nur 10 Ruthen breit ist, während seine Länge 600 Ruthen mifst. Die Breite ist zu gering, um mehrere Schiffe reihenweise hinter einander zu legen, und an einzelnen Stellen darf gar kein Schiff liegen, weil sonst ein schnell einkommendes Schiff dagegen stofsen würde. Aus diesem Grunde ist der Bau eines weit geöffneten Bassins ohnfern der Mündung und zwar linkseitig oder westwärts vom alten Hafen begonnen, das nach Bedürfnifs auch später verlängert werden kann.

In früherer Zeit bildete die Mündung der Weichsel den Hafen, da derselbe aber stark versandete, so verlegte man im Anfange des 17. Jahrhunderts den Schiffahrtsweg von der Weichsel zur See auf das linke Ufer. Bald darauf schlofs man die obere Mündung dieses Canals durch eine Schiffs-Schleuse, um seine Durchströmung namentlich beim Eisgange und bei höheren Anschwellungen der Weichsel zu verhindern. Seine Länge mafs ursprünglich nur 200 Ruthen, aber sobald die Köpfe der Schutzdämme, die jedesmal Anfangs frei in die See traten, von der sich immer weiter ausdehnenden Verlandung erreicht waren, führte man dieselben weiter hinaus, und in dieser Weise hat der Hafen endlich seine gegenwärtige Ausdehnung gewonnen *).

Eine wesentliche Aenderung erfuhr dieser Hafen, als im Jahr 1840 die Weichsel beim Eisgange die Dünen bei Neufähr durchbrach und hier eine neue Mündung in die See bildete, die wegen der starken Abkürzung ihres Laufs sogleich vom ganzen Strom verfolgt wurde. Die obere Mündung des nunmehr verlafsnen Stromarms wurde durch eine Schiffsschleuse geschlossen und in diesem Arm hörte darauf die Strömung fast ganz auf, da nur noch zwei kleine Flüsse, die Mottlau und die Radaune, sich darin ergiefsen. Auf solche Art wurde die Schleuse vor dem Hafen Neufahrwasser entbehrlich und ist bald darauf beseitigt

---

*) Geschichte der Veränderungen des Danziger Hafens von Severin. in den Bau-Ausführungen des Preufsischen Staates. Band I. Seite 36.

worden. Die Verflachungen des Fahrwassers in der Hafenmündung und vor derselben haben indessen keineswegs aufgehört. Die kräftigen Dampfbagger, die bei der geschützten Lage der Rhede fast immer arbeiten können, beseitigen aber sehr sicher die Verflachungen und sonach darf nunmehr von weiterer Verlängerung der Molen ganz abgesehn werden.

Wie schnell unter ungünstigen Verhältnissen der Strand vor Hafendämmen sich verbreitet, hat nach Barret*) in neuster Zeit wieder die nördliche Mündung des Suez-Canals bei Port-Saïd gezeigt. Da der Strand sich bisher unverändert erhalten hatte, so hoffte man, dafs dieses auch in Zukunft geschehn werde, und meinte, dafs eine nur 400 Meter lange Mole wenigstens für ein Jahrhundert die Mündung sichern würde. Nach zwei Jahren hatte dagegen der Strand sich bereits um diese 400 Meter vorgeschoben, indem die von Westen nach Osten gerichtete Küstenströmung den vom Nil herabgeführten Sand davor ablagerte.

Von den vielfachen Vorschlägen, die Hafenmündungen so einzurichten, dafs von der See aus weder Sand und Kies hineintreiben, noch davor sich ablagern, ist wenig Erfolg zu erwarten, da die Lösung dieser Aufgabe unmöglich ist. Dagegen ist die Frage von grofser Bedeutung, ob die Masse des vorbeitreibenden Materials sich nicht vermindern läfst, und hierzu bieten sich allerdings einige Mittel. In § 26 ist bereits mitgetheilt worden, dafs bei Ausbildung der Vordünen sehr grofse Sandmassen auf dem Ufer festgehalten werden können, die also den Wellen und der Küstenströmung entzogen werden. Die Erfahrungen an der Küste von Hinterpommern zeigen auch deutlich, dafs die Versandungen der Bach- und Flufsmündungen am stärksten sind, wenn auf der der Küstenströmung zugekehrten Seite hohe Sandufer den Strand begrenzen, die bei jedem Sturm abbrechen und neues Material für Ablagerungen liefern. In dieser Weise steht der Dünenbau mit dem Hafenbau in der innigsten Beziehung, und die bedeutenden Summen, die bei uns auf den erstern verwendet werden, bezwecken grofsentheils die Sicherung des letztern.

Die antreibende Sand- und Kiesmasse läfst sich demnächst auch durch Schutz der Ufer mittelst vortretender Buhnen

*) l'Amènagement des ports de Commerce. pag. 94.

wesentlich vermindern. Besonders der Kies pflegt durch solche reichlich aufgefangen zu werden, wie dieses zum Beispiel westlich von Dover mehrfach geschehn ist.

In der unmittelbaren Nähe eines Hafens und zwar auf derjenigen Seite, von wo das Material antreibt, dürfen Anlagen dieser Art aber nicht zur Ausführung kommen. Die Tendenz zu Ablagerungen und Verlandungen wird hier schon durch die vortretenden Molen geboten, es ist also entbehrlich dafür noch auf andre Art zu sorgen. Aber das Festlegen des Sandes an dieser Stelle ist sogar für den Hafen höchst gefährlich.

Wenn ein stärkerer Wind ungefähr die Richtung des Strandes hat, so sieht man auf letzterm den Sand in voller Bewegung, und bemerkt, wie er in den Hafen treibt. Bei heftigen Stürmen bedeckt sich der ganze Strand mit einer Staubwolke, die aber nur aus den aufgeworfnen Sandkörnchen besteht. Diese Wolke wird aber über kleinern Häfen, die wenig Breite haben, wie früher Rügenwaldermünde und Stolpmünde, keineswegs vollständig unterbrochen, sie setzt sich vielmehr darüber fort. Ein grofser Theil dieses treibenden Sandes fällt also nicht in den Hafen, sondern fliegt hinüber und treibt auf dem andern Ufer weiter. Nichts desto weniger ist nicht in Abrede zu stellen, dafs ansehnliche Sandmassen dabei dennoch in den Hafen fallen. Indem diese Erscheinung besonders auffällig ist, so wird nicht nur von Laien, sondern auch selbst von Baumeistern hierauf grofses Gewicht gelegt, und es wird oft darauf gedrungen, durch Anpflanzung von Strandgräsern neben dem Hafen den Sand aufzufangen und festzulegen, damit er nicht in den Hafen fliegt.

Während gemeinhin die Gräser hier sich schon von selbst einfinden, gedeihen die Pflanzungen vortrefflich, und wenn sie bei stärkern Winden überweht und vom Sande ganz verdeckt werden, wachsen sie um so kräftiger durch, worauf sie aufs Neue grofse Sandmassen auffangen. In dieser Weise bilden sich in wenigen Jahren hohe Hügel, die auf der vom Winde abgekehrten Seite, also neben dem Hafen, sehr steil abfallen. Nunmehr kommt es darauf an, diese zu schützen und dafür zu sorgen, dafs bei heftigem Winde nicht Einrisse in ihnen entstehn, wodurch sie häufig in der kürzesten Zeit vollständig zerstört werden und in den Hafen

stürzen. Diese Gefahr ist viel gröfser, als diejenige, der man durch die Anpflanzung begegnen wollte.

Dabei tritt noch ein andrer sehr wesentlicher Nachtheil ein. Wie bei Gelegenheit des Dünenbaues bereits erwähnt ist, verbreitet und erhöht sich auch der Strand vor der Vordüne, die Bucht, welche durch die vortretende Mole gebildet wurde, füllt sich also nach und nach, und oft in wenig Jahren, mit Sand an und verändert dadurch die Richtung des Küstenstroms. Derselbe tritt nicht mehr in die Bucht ein, und nimmt nicht mehr neben der Mündung des Hafens eine Richtung an, die mehr oder weniger der offnen See zugekehrt ist, er folgt vielmehr dem neu gebildeten Strande und trifft unmittelbar die Mündung in gleicher Weise, als wenn die vor Kurzem erbauten Hafendämme nicht existirten, und es bleibt alsdann nur übrig, die letztern aufs Neue weiter hinauszuführen. Indem an der Preufsischen Ostseeküste sowol die westlichen Winde die herrschenden sind, als auch vor der Provinz Pommern die Küstenströmung von Westen nach Osten gerichtet ist, so dürfen daselbst westwärts von den Häfen bis auf gewisse Entfernungen, und im Allgemeinen, so weit, als die Ufer nicht angegriffen werden, keine Pflanzungen und Zäunungen, noch ähnliche Anlagen zur Ausführung kommen. Wenn aber hier auf dem Strande von selbst Gräser aufwachsen, die unbedingt eben so schädlich sind, wie die angepflanzten, so werden dieselben durch wiederholtes Ausroden beseitigt, um einen möglichst niedrigen Strand dauernd zu erhalten.

Es ist schon bemerkt worden, dafs die Sandmasse, welche durch den Wind in den Hafen getrieben wird, nicht so grofs ist, als es den Anschein hat. Die hinein fallenden Körnchen sinken aber auch nur langsam nieder und lagern sich daher keineswegs an derselben Stelle ab, wo sie das Wasser berührten. Findet gerade ausgehnder Strom statt, so treiben sie mit diesem in die See und vermengen sich mit demjenigen, welcher sich im Küstenstrom befindet. Bei eingehendem Strom werden sie aufwärts getrieben, und wenn sie hier auch unbedingt die Verflachungen vergröfsern, so lassen solche im Innern der Häfen sich leichter, als in den Mündungen, durch Baggern beseitigen.

Wenn bei sandigen Ufern über den Strand kleine Wasserläufe in ein Meer fliefsen, das einem starken Fluthwechsel

unterworfen ist, so wird die Offenerhaltung der Mündung noch bedeutend schwieriger. Es pflegen sich alsdann sehr starke Küstenströmungen einzustellen, die also die Ufer und den Strand angreifen und folglich auch grofse Sandmassen in die Oeffnungen treiben, während diese Strömungen zugleich in kurzen Zwischenzeiten, den Fluthen und Ebben entsprechend, ihre Richtungen verändern. Auf der ganzen Niederländischen Küste von der Schelde bis zur Mündung der Süder-See am Helder wird kein Entwässerungs-Graben in die Nordsee geführt, sondern die Abflüsse erfolgen stets nach den Binnenseen oder den Strömen. In diesen sammeln sich also gröfsere Wassermassen an, welche im Stande sind, die Mündungen offen zu erhalten. Die einzige Ausnahme hiervon macht die Entwässerung des Rheinlandes bei Catwijk, wo man aber theils eine kräftige Spülung vorgesehn, und theils durch weit vortretende Molen den Sand abzuhalten versucht hat (§ 19 a). Natürliche Bäche kommen in dieser ganzen Strecke gleichfalls nicht vor.

Wenn dagegen gröfsere Ströme sich in ein solches Meer ergiefsen, oder weite Busen darin ausmünden, wie die Jade und der Dollard, so veranlafst die bei jeder Fluth hineintretende, wie auch die bei der Ebbe abfliefsende Wassermasse eine kräftige Strömung, welche die erdigen Niederschläge in der Mündung wieder beseitigt. Gemeinhin sind die Mündungen so weit, dafs man von dem Versuch, sie zu reguliren und vielleicht auch einzuschränken, absehn mufs. Sollte dieses aber geschehn, so würden im Allgemeinen die oben erwähnten Grundsätze auch hier zu beachten sein, doch müfste man für die Erhaltung einer hinreichenden Weite vorzugsweise Sorge tragen. Es kommt nämlich theils darauf an, eine möglichst grofse Wassermenge bei jeder Fluth eintreten zu lassen, damit die Ausströmung recht kräftig ist, theils aber darf bei starker Beschränkung des Profils auch das Gefälle daselbst nicht concentrirt, und dadurch eine so heftige Strömung veranlafst werden, dafs der Durchgang der Schiffe in gewissen Zeiten zu sehr erschwert oder sogar gefährlich würde. Vorzugsweise ist dabei auf die Fluth Rücksicht zu nehmen, da dieselbe in Strömen kürzere Zeit anhält, als die Ebbe, und daher kräftiger ist. Je weiter sie in den Strom hinauftritt, um so geringer wird ihre Wassermasse, und es ist

mit Rücksicht auf diese Verminderung auch versucht, diejenigen Profilweiten zu ermitteln, die man dem Strom geben müfste, wenn man überall eine gleiche Geschwindigkeit darstellen wollte*). Alsdann müfste die eigentliche Mündung die gröfste Breite erhalten, während die Ufer weiter aufwärts einander immer näher treten. In der Natur findet man diese Gestaltung allerdings, doch hat man sie wohl nie künstlich befördert, weil dadurch die Tiefe des Fahrwassers bedroht würde.

Um einen kräftigen Spülstrom darzustellen, ist es aber nöthig, grofse Flächen stromaufwärts offen zu erhalten, in welche die Fluth eintreten und dieselben füllen kann. Hiervon ist bereits § 9 die Rede gewesen. Es mufs aber noch mit wenig Worten der künstlichen Spül-Vorrichtungen in den Häfen gedacht werden, wenn dieselben auch später ausführlich behandelt werden sollen. Der disponible Raum neben Seehäfen ist fast immer so beschränkt, dafs man davon absehn mufs, Bassins von solcher Ausdehnung der Fluth zu eröffnen, wie die der natürlichen Strombetten und noch mehr die der Meeresbusen. Indessen können auch kleinere Wassermassen, die man auffängt, einen, wenn auch nur kurze Zeit anhaltenden, doch sehr kräftigen und wirksamen Spülstrom darstellen, wenn man sie unter starkem Gefälle abfliefsen läfst. Hierzu bietet der Fluthwechsel Gelegenheit, und da derselbe bei Springfluthen am gröfsten ist, so werden die Spülungen auch nur in diesen vorgenommen. Das Bassin ist in der Art geschlossen, dafs das Hochwasser darin zurückgehalten, und beim Eintritt des niedrigsten Wasserstandes schnell abgelassen werden kann. Um es mit möglichst grofsem Gefälle, also mit grofser Geschwindigkeit durch die Hafenmündung zu führen, mufs die Entfernung des Bassins bis zu dieser nicht zu grofs, noch auch stark gekrümmt oder sehr enge sein. Die Erfolge solcher Spülung sind so bedeutend, dafs eine grofse Anzahl von Häfen, namentlich in England und Frankreich, gar nicht von gröfsern Schiffen besucht werden könnten, wenn nicht in dieser Weise periodisch ihre Mündungen von dem ein-

*) Etudes et notions sur les constructions à la mer par Bouniceau. Paris 1866, pag. 163 und 390.

treibenden Sande, Kies und selbst von gröbern Kieseln gereinigt würden.

Wenn die Mündung eines Stroms entweder den Hafen selbst oder doch dessen Verbindung mit der See bildet, so giebt auch der vom Binnenlande aus herabtreibende Sand, so wie andres Material, vielfach Veranlassung zu Verflachungen. Dieselben bleiben im Allgemeinen nur mäfsig, wenn die Mündung einem starken Wellenschlag ausgesetzt ist, auch der Strom nur Thon und solche Stoffe mit sich führt, die sich bei starker Bewegung des Wassers in feine Theilchen auflösen, also nicht sogleich niedersinken, vielmehr von der Küstenströmung gefafst und fortgeführt werden.

Wie verschieden die Ablagerungen sind, welche derselbe Strom veranlafst, wenn er in einen Binnensee, oder wenn er in das offne Meer sich ergiefst, zeigt sehr deutlich die Weichsel, von der ein Arm, nämlich die Nogat, in das Frische Haff mündet, während der andre in die Ostsee tritt. Vor jenem dehnt sich von Jahr zu Jahr das Ufer weiter aus, wie bereits Theil I, § 24 nachgewiesen wurde, auch bestehn hier die Niederschläge aus fruchtbarem Boden. Vor die Mündung der eigentlichen Weichsel lagert sich dagegen vorzugsweise nur ein ausgewaschner Sand ab, der auch weniger weit vor die beiderseitigen Ufer vortritt. Beide Mündungen sind aber so flach, dafs sie von Schiffen nicht befahren werden, vielmehr stellen Schleusen-Canäle die schiffbare Verbindung der Nogat, wie der Weichsel mit dem Haff und der See dar.

Wenn Ströme in Meeresbuchten oder an solchen Stellen ausmünden, die nur selten einem stärkeren Wellenschlage ausgesetzt sind, wo auch die Küstenströmung weder anhaltend, noch besonders heftig ist, so dehnen sich die Ablagerungen schnell immer weiter aus, und wenn man sie durch Verstärkung der Strömung angreift, so werden sie nicht sowol beseitigt, als nur weiter fortgeschoben. Dieses Verhältnifs wiederholt sich auch mehr oder weniger in allen Binnenseen, in welche Ströme oder Flüsse sich ergiefsen. Die Verflachungen lassen sich indessen, so weit sie die Schiffahrt behindern, hier durch Baggern leichter, als in der offnen See beseitigen, da starker Wellenschlag fehlt. Dabei darf indessen eine weitere Folge dieser Ablagerungen nicht unerwähnt

bleiben, nämlich die dadurch veranlafste Verkleinerung solcher Binnenseen. Dafs dieselbe im Lauf der Zeit vielfach eingetreten ist, zeigen sehr deutlich die aus den Niederschlägen gebildeten ausgedehnten und niedrigen Wiesenflächen neben den Einmündungen der Ströme, und es leidet keinen Zweifel, dafs dereinst diese Seen ganz verfüllt und in festes Land verwandelt sein werden, wobei auch ihre so günstige Wirksamkeit in Betreff der Klärung des Wassers ganz aufhören wird. Dieser Zeitpunkt liegt indessen meist in so weiter Ferne, dafs man gegenwärtig hierauf nicht Rücksicht zu nehmen braucht.

Die Alluvionen, welche aus den Niederschlägen des Stroms entstanden sind, unterscheiden sich wesentlich von denjenigen, welche die Wellen aufwerfen. Letztere gestalten sich als Barren, die parallel zum Ufer vor den Mündungen sich hinziehn, jene dagegen bilden sich aus den Ablagerungen, die beim Aufhören der Strömung sich halbkreisförmig um die Mündung anhäufen. Indem aber die Geschwindigkeit des Wassers in der Richtung seiner Bewegung am gröfsten bleibt, so ist daselbst auch der Niederschlag etwas schwächer und wird hier weiter fortgeführt, so dafs zwischen den beiderseitigen Erhöhungen des Bodens in der Mitte eine etwas tiefere Rinne bleibt. Die Alluvionen bilden in dieser Weise Verlängerungen der Ufer, und so geschieht es, dafs im Lauf der Zeit der Strom auf einer langen, schmalen Landzunge in das Meer tritt. Besonders auffallend zeigt sich dieses an den Mündungen des Mississippi, woselbst diese Landzungen 2 bis 3 deutsche Meilen lang geworden sind (Fig. 117 B, Taf. XX a).

Durch Regulirung und Einschränkung der Mündung läfst sich auch in solchem Fall Hülfe schaffen, doch wird dadurch in keiner Weise die fernere Ausbildung derselben Erscheinung verhindert, dieselbe setzt sich vielmehr in gleicher Weise wie früher fort, sobald die gröfsere Tiefe vor der neuen Mündung angefüllt ist.

Um dennoch die Ablagerungen vor der Mündung zu verhindern, hat Cialdi bei Verbesserung des Hafens von Pesaro die eigenthümliche Anordnung getroffen, dafs er die Mole auf der concaven Seite durch eine weite Oeffnung unterbrochen hat, durch welche bei passenden Winden auch Schiffe ein- und aus-

laufen sollen. Der Fluss Foglia, der in nord-nordöstlicher Richtung in das Adriatische Meer mündete, ist unterhalb Pesaro in östliche Richtung verlegt, und zwar hat man sein neues Bette in sanfter Krümmung über Norden hinaus etwas östlich gerichtet. Die linkseitige Mole ist nur wenig über die Uferlinie hinausgeführt, dagegen tritt die rechtseitige, welche die Concave bildet, weiter vor, ist aber bei 132 Ruthen Länge plötzlich unterbrochen, und setzt sich alsdann unter Innehaltung des frühern Bogens noch 53 Ruthen fort. Zur Erklärung dieser eigenthümlichen Anordnung führt Cialdi sechs verschiedene Gründe an, die wohl alle sehr zweifelhaft sind, von denen der zweite aber besondere Erwähnung verdient. Das mit dem Fluss herabtreibende Material soll nämlich nicht bis zur eigentlichen Mündung vor dem Kopf der isolirten Mole gelangen, sondern durch diese Oeffnung schon seitwärts austreten*). Man sollte meinen, dafs der Strom, wenn er Kies und Gerölle hier hindurchtreibt, auch selbst diesen Weg verfolgen mufs, und alsdann der isolirte Theil der Mole von ihm gar nicht berührt werden wird. Wenn der Strom dagegen die frühere Richtung beibehält, so wird er auch die mitgeführten Stoffe bis ans Ende der äufsern Mole treiben, so dafs die Oeffnung von keinem oder doch nur sehr geringem Erfolg wäre.

Man verhindert Verflachungen dieser Art, wenn man künstliche Erweiterungen des Bettes darstellt, also Klärungs-Bassins bildet, bei deren Durchströmung die Geschwindigkeit sich wesentlich ermäfsigt und dadurch die Reinigung des Wassers erfolgt. Dieses Verfahren ist jedoch nur bei kleinern Flüssen anwendbar, da es bei gröfsern Strömen theils in der Ausführung und theils in der Erwerbung des dazu erforderlichen Terrains zu kostspielig sein würde. Jedenfalls ist bei solcher Anlage auch deren spätere Unterhaltung zu berücksichtigen. Je wirksamer das Bassin ist, um so schneller füllt es sich mit Sand, Kies und Erde an, und ist dieses geschehn, so hört seine Wirksamkeit auf. Es müssen daher von Zeit zu Zeit Aufräumungen oder Baggerungen

---

*) Barret, note sur l'amènagement des ports de commerce. Marseille und Paris (ohne Jahreszahl), pag. 111.

vorgenommen werden. Der Nutzen dieser Anlagen besteht aber darin, dafs die periodischen Vertiefungen an einer Stelle ausgeführt werden, wo weder der Wellenschlag sie behindert, noch auch der Schiffsverkehr dabei gestört wird.

Beim Umbau des Stolpmünder Hafens ist ein solches Klärungs- oder Ablagerungs-Bassin eingerichtet, welches in jedem Frühjahr nach der starken Abwässerung des Stolp-Flusses in grofser Höhe mit feinem Sande angefüllt wird, und alsdann wieder vertieft werden mufs. Durch diese Anlage ist indessen keineswegs die Verflachung der Hafen-Mündung verhindert, oder auch nur ermäfsigt, da dieselbe vom Wellenschlag und der Küstenströmung herrührt und daher jedesmal aus dem groben Sande und dem Kies besteht, der hier den Strand bildet. Der feine Sand des Flusses lagerte sich aber bisher an allen etwas erweiterten Stellen des Hafens ab, und die Baggerungen konnten hier nicht ohne wesentliche Störung des Schiffsverkehrs ausgeführt werden.

Bei dieser Gelegenheit wäre auch an die Thalsperren zu erinnern, von denen bereits Theil II, § 9 die Rede war, und die man neben Häfen, die in Felsbuchten liegen, mehrfach mit Vortheil ausgeführt hat, um zu verhindern, dafs durch die darin mündenden Bäche nicht Gerölle und selbst grofse Steine hineingeführt werden. So hatte man neben Port Vendre, am Fufs der Pyrenäen, die angrenzenden Schluchten durch trockne Mauern aus Bruchsteinen geschlossen. Im Jahr 1857 sah ich indessen die davor gebildeten Bassins vollständig mit Steinen angefüllt, sie erfüllten also nicht mehr ihren Zweck und die weiter aufwärts gelösten Massen rollten darüber fort in den Hafen. Aufräumungen oder periodische Erhöhungen der Mauern sind also auch hier erforderlich, doch sind diese Arbeiten unbedingt weniger kostbar, als wenn man die herabgestürzten Steine aus dem Hafen heben und fortschaffen müfste.

Endlich wird noch häufig der Vorschlag gemacht, man solle, um den Verflachungen der Mündungen vorzubeugen, dafür sorgen, dafs die Ströme nicht Sand und Kies mit sich führen. Man verlangt also, dafs sowol die Stromufer, wie auch die Ufer der Zuflüsse gedeckt werden. Diese Forderung ist indessen

so weit greifend, dafs sie bisher noch niemals vollständig erfüllt werden konnte.

Eben so wenig lassen sich auch die Verflachungen in und vor den Hafenmündungen dadurch verhindern, dafs man ihnen gewisse Formen und Richtungen giebt, wenn gleich unzweifelhaft durch unpassende Anordnung derselben das Uebel verstärkt werden kann. Man hat in dieser Beziehung den Hafen Kingstown an der Bucht vor Dublin als Muster aufgestellt*), in welchem eben so wenig wie in seiner Mündung Verflachungen vorkommen sollen, wiewohl der Liffey, in den er austritt, eine grofse Masse erdiger Theilchen abführt und daher sein Wasser sehr trübe ist. Hier sind es aber locale Verhältnisse, welche die Niederschläge im Hafen verhindern. Der Strom hat vor der Mündung des Hafens beim niedrigsten Wasserstande schon die Tiefe von 25 Fufs und dieselbe vergröfsert sich weiter seewärts noch mehr. Die aus dem Irischen Canal eindringende Fluth füllt also den Hafen mit reinem Wasser und bei seinem vergleichungsweise zur Mündung bedeutenden Flächeninhalt, wie Fig. 102, Taf. XVII zeigt, findet während der Ebbe fortwährend Ausströmung statt. Das trübe Stromwasser tritt also gar nicht in ihn hinein, woher auch starke Verflachungen sich darin nicht bilden können, obwohl im Liffey selbst die Bänke sich soweit ausdehnen, dafs nur eine schmale Fahrrinne bis Dublin hinauf geöffnet ist.

Das sicherste und zugleich das einfachste Mittel zur Verhinderung der Niederschläge, die ein hindurchfliefsender Strom dem Hafen zuführt, besteht darin, dafs man den Strom nicht durch den Hafen in die See münden läfst, sondern ihn seitwärts verlegt, und zwar an diejenige Seite, welche von der Küstenströmung später als der Hafen getroffen wird, so dafs die Stoffe, welche der Strom mit sich führt, nicht etwa in den Hafen treiben, oder in dessen Mündung niederfallen. Um dabei die Wasserverbindung mit dem Strom offen zu erhalten, wird ein Schiffahrts-Canal zwischen beiden dargestellt, der aber fortdauernd, oder wenigstens, wenn der Strom trübes Wasser führt, durch eine Schiffsschleuse geschlossen werden mufs. Wie erfolgreich diese

*) W. B. Pritchard, a treatise on harbours, Vol. I. London 1814.

Anordnung indessen auch ist, so darf sie nur gewählt werden, wenn durch Wellenschlag und Küstenströmung keine Verflachungen zu besorgen sind, also nur an solchen Ufern, wo die Strandbildung fehlt. Existirt diese, und wird der Sand oder Kies längs der Küste getrieben, so sind Verflachungen der Hafenmündung unvermeidlich. Es bedarf daher einer sorgfältigen Prüfung der localenVerhältnisse, ehe man zu dieser Anordnung sich entschliefst.

Wenn ein solcher Seitencanal nach dem Hafen, dem man immer die möglichst geringste Länge giebt, bedeutend kürzer als der Stromlauf ist, so bleibt das relative Gefälle in ihm gröfser, als in dem letztern, er nimmt alsdann, wenn er nicht geschlossen wird, einen ansehnlichen Theil der abfliefsenden Wassermenge auf und verfehlt dadurch seinen Zweck. Die Erbauung einer Schleuse ist daher nothwendig, und man wird sie nicht leicht dauernd geöffnet lassen dürfen, weil selbst das kleinste Wasser nicht immer so rein ist, dafs keine Verflachungen zu besorgen wären Hiernach stellt sich meist die Nothwendigkeit heraus, die Verbindung stets geschlossen zu erhalten und jedes stromaufgehende Schiff durchzuschleusen. Daraus entspringt eine sehr lästige Erschwerung des Schiffsverkehrs, und diese Anordnung erweist sich bei lebhaftem Verkehr aus diesem Grunde sogar als ganz unthunlich.

Endlich bleibt noch zu erwähnen, dafs man in manchen Fällen durch keine der beschriebenen Anordnungen im Stande ist, die Verbindung des Hafens mit der See in der nöthigen Tiefe offen zu erhalten, und man daher gezwungen ist, das Fahrwasser künstlich zu räumen. Ein dauernder Erfolg ist dabei nicht zu erwarten.. So lange die Verhältnisse der Ausund Einströmung nicht wesentlich verändert werden, mufs man unter gleichen Witterungs-Verhältnissen auch gleiche Erfolge, also wieder die Sperrung des Fahrwassers durch Sandbänke befürchten. Wenn indessen eine solche Sperrung eingetreten, und die Schifffahrt dadurch plötzlich unterbrochen ist, so darf nicht der Zeitpunkt abgewartet werden, in welchem die Strömung die Barre durchbricht, oder vielleicht gar die Verlängerung der Molen den Uebelstand beseitigt. Es bleibt alsdann nur übrig, sogleich die Wiedereröffnung des Fahrwassers in andrer Weise zu versuchen.

Bereits im zweiten Theil § 50 ist erwähnt worden, dafs die

Auflockerung des Grundes bei starker Strömung in kurzer Zeit schon eine wesentliche Vertiefung des Fahrwassers veranlassen kann, wie dieses 1826 in dem Seegatt vor Pillau geschah. Dieses Mittel empfiehlt sich unbedingt dadurch, dafs es sich leicht in Anwendung bringen läfst. Jedenfalls mufs aber die sorgfältige Untersuchung der Barre vorangehn, damit man weifs, an welcher Stelle dieselbe am leichtesten und schnellsten durchbrochen werden kann. Es kommt darauf an, dafs die Strömung nicht nur das gelöste Material mit sich reifst, sondern sich auch mit zunehmender Stärke in die Rinne schon während ihrer Bildung ergiefst, also zu ihrer Erweiterung und Vertiefung mit beiträgt. Hiernach wird man diejenige Stelle in Angriff nehmen, wo die Barre am niedrigsten und schmalsten ist, und wo zugleich sowol davor, als dahinter die gröfsern Tiefen am meisten sich nähern. Die Rücksicht auf Darstellung eines möglichst geraden und bequemen Fahrwassers darf dabei keineswegs unbeachtet bleiben, doch tritt diese Rücksicht in so fern zurück, als es in solchem Fall zunächst nur darauf ankommt, den gröfsern Schiffen überhaupt einen Weg zu eröffnen, und gemeinhin entspricht die am leichtesten zu vertiefende Richtung auch der letzten Bedingung.

Die Apparate, welche in solchem Fall benutzt werden, sind oben bereits eingehend erörtert, und es wäre hier nur zu erwähnen, dafs man auch in neuster Zeit in Amerika, wie etwa in und vor der Mündung des Mississippi, häufig von diesem Verfahren Gebrauch macht, indem man eiserne Rechen, Ketten, Dragger u. dergl. durch Dampfböte hin und her über den Grund schleppen läfst.

Nachdem in neuerer Zeit Dampfbagger allgemein Eingang gefunden haben, sind wohl alle gröfsern Häfen mit solchen versehn. Dieselben werden auch zum Aufräumen der Mündungen benutzt, sobald das Bedürfnifs eintritt. Vor den Vorrichtungen zum Auflockern des Grundes haben sie den grofsen Vorzug, dafs sie auch nach dem Aufhören der Strömung noch kräftig wirken, aber dennoch mufs man die Strömungen stets berücksichtigen und nur solche Rinnen ausbaggern, welche diese verfolgen können, weil sonst die Verflachungen zu schnell wieder sich bilden würden. Ein sehr grofser Uebelstand ist es aber, dafs die Bagger bei einigem Seegange nicht zu gebrauchen sind, weil die Eimer oder

sonstigen Theile, die den Boden fassen, zu heftig dagegen stofsen, und starke Beschädigungen leicht eintreten. Auch das Anlegen der Prahme, welche das gehobene Material aufnehmen, ist im Wellenschlage sehr bedenklich. Unbedingt mufs der Bagger, der zu Zeiten in einigem Wellenschlage arbeiten soll, eine gewisse Gröfse und namentlich hinreichende Länge haben, weil er sonst bei der geringsten Bewegung des Wassers schon zu stampfen anfängt. Kleine Bagger von etwa 50 Fufs Länge sind daher in und vor den Hafenmündungen nicht zu gebrauchen. Das Rollen oder das Schwanken zur Seite ist besonders nachtheilig, wenn die Eimerketten an den Seiten des Fahrzeugs hängen; ist dagegen, wie in neuerer Zeit fast jedesmal geschieht, nur eine Kette in der Mittellinie des Baggers angebracht, so stört eine mäfsige Wellenbewegung weniger den Fortgang der Arbeit. Um aber das Anlegen der Prahme entbehrlich zu machen, so versieht man auch wohl das Baggerschiff selbst mit dem Lagerraum für das ausgehobene Material, wie ich dieses beispielsweise vor 20 Jahren in Hâvre sah. In diesem Fall kann aber der Betrieb nicht längere Zeit hindurch fortgesetzt werden, sondern der Bagger, der zugleich mit den nöthigen Vorrichtungen zu seiner eignen Fortbewegung versehn ist, mufs, sobald er sich gefüllt hat, an die zum Löschen bestimmte Stelle zurückkehren. Um letzteres möglichst schnell auszuführen, wird sowol aus solchem Bagger selbst, wie auch aus den Prahmen, der Sand oder die Erde nicht mit Schippen ausgeworfen oder in Karren abgeführt, sondern durch Boden- oder Seitenklappen unmittelbar ausgestürzt. Die Stellen, an welchen Letzteres geschieht, sind mit Sorgfalt auszuwählen, damit der daselbst verstürzte Boden nicht etwa die Schiffahrt wieder beeinträchtigt, oder gar durch die Strömung in die künstlich dargestellte Rinne wieder zurückgeführt wird.

Ohnerachtet der sorgfältigsten Wahrnehmung aller Vorsichtsmaafsregeln ist dennoch vor vielen Häfen die See nur selten und nur kurze Zeit hindurch soweit abgestillt, dafs in und vor der Mündung gebaggert werden kann. Man mufs daher möglichst dafür sorgen, dafs das Fahrwasser hier von selbst sich rein erhält. Anders gestalten sich freilich die Verhältnisse, wenn der Hafen nicht in das offne Meer, sondern in eine Bucht mündet, die gegen die herrschenden Winde geschützt ist. Alsdann dürfte

es sich wohl empfehlen, durch wiederholte Baggerungen die unvermeidlichen Verflachungen zu beseitigen, statt den letztern durch weit ausgedehnte Molenbauten zu begegnen.

Bei solchen Häfen, die nicht in oder neben den Mündungen gröfserer Ströme, aber an einer Küste liegen, die aus aufgeschwemmtem Boden besteht, wo also im Allgemeinen Verflachungen zu besorgen sind, werden diese verhindert, wenn eine heftige Küstenströmungen unmittelbar neben der Mündung vorübergeht. Dieser günstige Umstand konnte beispielsweise bei Erbauung des Kriegshafens an der Jade, Wilhelmshaven, benutzt werden. Der $2^1/_2$ deutsche Meilen breite Busen der Jade, der in der Verbindung mit der Nordsee zwischen Heppens und Eckwarden sich plötzlich auf 1200 Ruthen verengt, füllt sich bei jeder Fluth 10 bis 11 Fufs hoch mit Wasser. Vor den an beiden Seiten vortretenden Ecken bilden sich daher bei der Fluth, wie bei der Ebbe sehr heftige Strömungen, welche hier Verflachungen nicht entstehn lassen. Aus diesem Grunde verlegte ich bei Projectirung des Hafens die Mündung desselben in die westliche dieser scharfen Ecken und empfahl, die steil ansteigenden Hafenmauern noch über die Ausdehnung des damaligen Landes, des Daunsfelder Grodens, etwas hinauszuführen. Ich hoffte, dafs hierdurch unmittelbar vor der Mündung ein hinreichend tiefes Fahrwasser sich ausbilden und dauernd erhalten würde. Dieser Erfolg ist erreicht.

Wesentlich verschieden hiervon waren die Projecte der beiden auswärtigen Ingenieure, die auf meinen Wunsch noch zugezogen wurden, nämlich des Englischen Ingenieurs Rendel, der die wichtigen Hafenbauten Holyhead, Portland und andre entworfen und die Ausführung derselben begonnen hatte, und des mit den Verhältnissen der Nordsee bekannten Wasserbau-Director Hübbe in Hamburg.

Die von denselben aufgestellten Projecte gingen erst ein, nachdem bereits in Folge des Staats-Vertrags mit Oldenburg der Bau nach meinem Entwurf schon eingeleitet und begonnen war. Rendel verlegte den Hafen an die nördliche, Hübbe dagegen an die westliche Grenze des erworbenen Gebiets. Nach dem letzten Project war die Möglichkeit zur Offenerhaltung des Fahrwassers besonders zweifelhaft, während dieselbe auch nach

dem ersten keineswegs gesichert erschien. Rendel's Entwurf war indessen ursprünglich wohl nicht für die Jade, sondern für irgend eine andre Localität bearbeitet, wo ein Fluſs bedeutende Massen süſses Wasser lieferte. Auch die Einzelheiten in beiden Projecten machten auf keinen Umstand aufmerksam, der nicht bereits berücksichtigt gewesen wäre.

Zuweilen handelt es sich um den Ausbau eines Hafens in einer Bucht zwischen Felsufern, die aus groſser Tiefe steil ansteigen. Alsdann ist jede Vorsicht zur Sicherung des Fahrwassers entbehrlich. Die Hafendämme, die man noch erbaut, haben nur den Zweck, das Einkommen und Ausgehn der Schiffe zu erleichtern und gefahrlos zu machen, und den Wellenschlag zu mäſsigen.

Zuweilen geschieht es, daſs das bei starkem Fluthwechsel von der Seeseite eintretende Wasser über ausgedehnte Bänke von Schlamm und Erde oder auch über Watten und früheres Marschland geflossen und durch so starke Beimengung fremder Stoffe verunreinigt ist, daſs es eine dunkle Färbung annimmt. Diese Massen läſst es in dem Vorhafen fallen und verflacht dadurch denselben so sehr, daſs periodische Baggerungen in kurzen Zwischenzeiten nothwendig werden. Die Verflachung stellt sich aber noch in viel gröſserem Maaſse ein, wenn durch die Hafenmündung nicht nur der Vorhafen, sondern auch das Spülbassin mit Wasser gefüllt wird, wie dieses meist zu geschehn pflegt. In dem weiten Vorhafen ist nämlich die Durchströmung so schwach, daſs schon hier die meisten erdigen Stoffe zu Boden sinken und nur ein Theil derselben bis in das Spülbassin gelangt, aus dem die Niederschläge leichter, als aus dem Vorhafen, wieder beseitigt werden können. Gewiſs trägt dieser Umstand wesentlich dazu bei, daſs in manchen Vorhäfen die Spülungen so wenig wirksam sind, und es ist daher vortheilhaft, wenn man durch eine besondere Einlaſsschleuse das Splülbassin mit dem äuſsern Wasser in Verbindung setzen, und es unmittelbar aus diesem füllen kann, ohne daſs der Zufluſs durch den Vorhafen tritt. In dem vor längerer Zeit aufgestellten Project zur Verbesserung des Hafens von Cuxhaven war diese Aenderung berücksichtigt.

§ 40.

Hafendämme.

Die Begrenzung der verschiednen Hafen-Bassins gegen bereits bestehnde Ufer oder gegen Wasserflächen, die dem Wellenschlag nicht ausgesetzt und vielleicht später zu verschütten sind, erfolgt durch Mauern oder Bohlwerke, die sich von den im zweiten Theil dieses Handbuchs §§ 4 bis 6 beschriebenen wenig unterscheiden. Die besondern Erfordernisse derselben sollen später mitgetheilt werden. Hier ist nur von solchen Umschliefsungen der Häfen die Rede, welche unmittelbar neben dem Meer und gewöhnlich sogar in demselben erbaut sind. Man nennt sie Hafendämme oder Molen. Ihre Construction, die eine eingehnde Beschreibung erfordert, bleibt hier noch unberührt, es soll vielmehr zunächst nur die Anordnung dieser Dämme mit Rücksicht auf die verschiednen dabei zu stellenden Anforderungen erörtert werden.

Die Hafendämme haben den Zweck, die im Hafen befindlichen Schiffe gegen den Wellenschlag zu sichern, der in der Nähe der Küste immer besonders heftig ist, aufserdem sollen sie auch die Verflachungen verhindern, welche in jeder Oeffnung des Strandes sich zu zeigen pflegen, wenn auch Ströme, oder Flüsse und Bäche durch dieselbe in das Meer ausmünden. Damit endlich der von den Hafendämmen umschlofsne Raum möglichst nutzbar werde, und die Schiffe wenigstens bei günstiger Witterung darin liegen und befrachtet oder entladen werden können, so dürfen auf der innern Seite keine flachen Dossirungen vortreten, auch müssen die Dämme bequem zugänglich sein, und dieses nicht nur bei ruhiger See, sondern auch bei heftigen Stürmen. Man erreicht durch Erfüllung dieser letzten Bedingung noch den Vortheil, dafs man den aus- und einlaufenden Schiffen in vielfacher Beziehung Hülfe leisten kann.

In den Englischen und Französischen Häfen sind diese Dämme gewöhnlich so eingerichtet, dafs man bei starkem Seegange noch zu ihren Köpfen gelangen, und mittelst der darauf stehnden kräftigen Winden oder durch unmittelbares Anziehn

der ausgebrachten Taue den Schiffen zu Hülfe kommen, oder äufsersten Falls, wenn das Schiff am Hafenkopf zerschellen sollte, die Besatzung retten kann. Diese Dämme sind freilich nicht so hoch, dafs sie von den Wellen nicht erreicht würden, in diesem Fall dürften sie sogar wegen der zu grofsen Höhe ihren Zweck verfehlen, dagegen befinden sich an der Seeseite starke Brustmauern, meist etwa 6 Fufs hoch, über welche das Wasser wohl herüberspritzt, auch zuweilen, nachdem es bis zu grofser Höhe angestiegen ist, massenhaft niederstürzt, aber dennoch nicht in der Art zerstörend wirkt, als wenn die Scheitel der Wellen unter Beibehaltung ihrer Richtung und Geschwindigkeit darüber fortlaufen.

In den Ostsee-Häfen waren die Molen bis vor Kurzem beiderseitig mit flachen Dossirungen versehn und ihre Kronen hatten nur mäfsige Höhen. Bei heftigem Wellenschlage konnte man sie nicht betreten, und beispielsweise war der Wärter der Leuchtbaake auf dem Kopf der östlichen Mole vor Swinemünde zuweilen gezwungen, sich darin mehrere Tage lang aufzuhalten. Indem die Wellen über diese Mole fortrollten, veranlafsten sie im Hafen selbst sehr starke Bewegungen, welche das Einlaufen der Schiffe wesentlich erschwerten, und überdiefs wurden selbst grofse Steine von 30 bis 40 Fufs Cubikinhalt über die Krone fort in den Hafen geschleudert.

Dieselben Uebelstände fanden auch in den Häfen des Cösliner Regierungsbezirks statt, wo wegen der geringen Breite des Fahrwassers vor beiden Molen Gordungswände errichtet werden mufsten, um das Auflaufen der Schiffe auf die Steindossirungen zu verhindern.

Die vor Pillau und Memel bis zum Seegatt hinausgeführten Molen waren in derselben Art erbaut, und litten bei Stürmen noch mehr als diejenigen vor den Pommerschen Häfen. Die Wellen zerstörten die Ueberpflasterung und demnächst auch die Steinschüttungen so sehr, dafs die Molen bald mehrere Fufs tief unter Wasser lagen.

Als ich im Jahr 1829 vor dem eigentlichen Hafen von Pillau einen kurzen Flügeldamm erbaute, um die Schiffe gegen den bei Südwinden eintretenden Wellenschlag zu schützen, durfte die flache Steinböschung nicht gewählt werden, weil

dadurch die Mündung zu sehr beschränkt wäre, und aufserdem kam es auch darauf an, hier einen Anlegeplatz für Schiffe darzustellen. Ich lehnte daher sowol die Senkstücke, als die Steinschüttung auf der Hafenseite gegen eine ziemlich dicht schliefsende Pfahlwand, und diese Construction hat sich bisher gut gehalten, wenn gleich die Schiffe beim Einkommen zuweilen dagegen liefen. Auch bei Verlängerung der westlichen Mole bei Stolpmünde, die 1859 zur Ausführung kam, wurde dieselbe Bauart nicht nur auf der Hafenseite, sondern auch vor dem Kopf angewendet, und bewährte sich auch hier.

Die Frage, ob bei Hafendämmen steile oder flache Böschungen zu wählen seien, wurde beim Bau des grossartigen Damms vor Dover, des sogenannten Admiralitäts-Pier, ausführlich erörtert. Viele und zum Theil sehr namhafte Sachverständige wurden darüber im Jahr 1845 vernommen. Die Aussagen derselben sind dem Bericht, welchen die Commission am 28. Januar 1846 dem Secretär des Schatzamtes erstattete, wörtlich beigefügt. Dieser Bericht ist später beiden Parlaments-Häusern vorgelegt, und bei der kurzen und übersichtlichen Fassung desselben in Betreff der in Rede stehnden Frage dürfte es sich empfehlen, diesen Theil in wörtlicher Uebersetzung hier folgen zu lassen.

„Die Ingenieure, deren Projecte uns vorliegen, sind verschiedner Ansicht über diese wichtigen Punkte, und wenn solche Männer abweichende Meinungen darüber äufsern, wie die Dämme angeordnet werden müssen, um der Kraft der Wellen den gröfsten Widerstand zu leisten, so können wir kaum ausdrücken, wie sehr wir die Verantwortlichkeit fühlen, die wir übernehmen, indem wir dem Befehl des Schatzamtes nachkommen, und entscheiden sollen, welches Project den Vorzug verdient.

„Es wird zur Vereinfachung dieses Theils unseres Berichts dienen, wenn wir die wesentlichsten Punkte der Projecte kurz bezeichnen, und gleichzeitig auch die Auslassungen der Ingenieure vorlegen, wodurch sie ihre Ansichten unterstützt haben.

„In ähnlicher Weise werden wir auch die Ansichten derjenigen Männer mittheilen, bei denen wir Belehrung suchten über diesen Gegenstand, der theils von so grofsem und allgemeinem Interesse ist, theils aber auch in seiner wissenschaftlichen Be-

handlung und in der Beobachtung der Erscheinungen noch so Vieles wünschen läfst.

„Die Ansichten derjenigen Ingenieure, welche Entwürfe vorgelegt haben, sind folgende:

„Herr Walker schlägt vor, Mauern, die beinahe senkrecht sind, auf dem Meeresboden zu erbauen: er will sie aber bei Portland in Caissons ausführen und sie von dort nach Dover bugsiren lassen.

„Herr Rendel giebt grundsätzlich den senkrechten Mauern den Vorzug, und da kein andres brauchbares Material zur Stelle ist und er die Beischaffung desselben aus der Ferne für zu schwierig und sogar für unausführbar hält, so empfiehlt er die Anwendung von Mauerblöcken aus festen, mit Cementmörtel verbundenen Ziegeln.

„Herr Harry Jones hält gleichfalls die senkrechte Mauer an sich für vortheilhafter, in seinem Project empfiehlt er aber mit Rücksicht auf Verminderung der Kosten einen flachen Hafendamm aus unbearbeiteten Kalksteinblöcken, der sich bis nahe zur Höhe des niedrigsten Wassers erhebt, und eine senkrechte Mauer trägt. In einem spätern Schreiben schlägt er jedoch die Anwendung von Béton-Blöcken vor, und will dieselben vom Meeresgrunde an in regelmäfsigen Schichten zu einer senkrechten Mauer verbinden.

„Herr Denison ist für eine senkrechte Mauer, die er aus grofsen Béton-Blöcken bis 3 Fufs unter das niedrige Wasser aufführen, und darauf einen Oberbau aus Granit stellen will. Er wählt aber den Béton, weil er denselben für wohlfeiler, als Ziegel-Mauerwerk hält.

„Herr George Rennie empfiehlt einen Damm aus Steinschüttung ähnlich demjenigen bei Plymouth.

„Herr John Rennie erklärt sich gleichfalls für die bei Plymouth gewählte Bauart, die Steine sollen aber von Portland oder von den Inseln im Canal beigeschafft werden.

„Herr Cubitt hat in seinem Entwurf einen Hafendamm mit flachen Böschungen gewählt, wozu die Steine wieder von Portland, oder von den Inseln im Canal entnommen werden sollen. Bei

seiner mündlichen Vernehmung vor der Commission empfahl er aber, senkrechte Mauern in Caissons zu erbauen *).

„Hierauf gingen wir, wie bereits angedeutet, zur Vernehmung der folgenden Personen über:

1. Des königlichen Astronomen, Professor Airy **),

2. des Professor Barlow,

3. des General-Majors J. Burgoyne, General-Inspectors der Festungen und früheren Vorsitzenden der Bau-Verwaltung in Irland,

4. des Directors der geologischen Aufnahmen, Henry de la Beche,

5. des bei den Liverpooler Docks angestellten Ingenieurs Hartley,

6. des General-Inspectors der Eisenbahnen, General-Major Pasley und

7. des Capitäns Vetch.

„Diese Herren sprachen sich sämmtlich entweder aus theoretischen Gründen oder nach eignen Wahrnehmungen für nahe senkrechte Mauern aus.

8. Der berühmte Französische Ingenieur und Director der Cherbourger Bauten, Reibell, vertheidigt den Grundsatz der senkrechten Mauern.

9. Der Ingenieur Brunel hat sich gleichfalls dafür ausgesprochen.

10. Der Ingenieur Bremner, der ausgedehnte Bauten an der Küste von Schottland ausgeführt hat, erklärt sich für senkrechte Mauern, dagegen

11. empfiehlt der Ingenieur Alan Stevenson in Edinburgh, flache Böschungen.

---

*) Bei der Vernehmung am 26. November 1845 erklärte Cubitt diesen Widerspruch, indem er sagte, er halte eine senkrechte Mauer für zweckmäfsiger, weil dieselbe beim Wellenschlag weniger leide, als eine Steinböschung. Bei der Bearbeitung des Projects habe er jedoch gefunden, dafs die Ausführung der ersten zu schwierig und zu gewagt sei, weshalb er sich für letztere entscheiden müsse.

**) In §§ 2, 3 und 6 ist bereits erwähnt, dafs derselbe sich mit der Theorie der Wellen, wie auch mit Beobachtung der Wirkung derselben beschäftigt hat.

„Das Schatzamt ersieht hieraus, dafs, mit einer einzigen Ausnahme, diese letzten Stimmen sich zu Gunsten der senkrechten Mauern ausgesprochen haben. Es gereicht uns zur grossen Beruhigung, zu sehn, dafs unsere Ueberzeugung von denjenigen Männern getheilt wird, von deren Urtheil wir nicht abweichen durften, ohne gegen unsre eignen Ansichten mifstrauisch zu werden.

„Man macht uns den Vorwurf, dafs die empfohlne Hafenmauer ein Experiment sei. Sie ist es ohne Zweifel, insofern bisher noch kein ähnliches Werk von dieser Gröfse ausgeführt ist. Die Hafendämme mit flachen Böschungen, aus Steinschüttungen bestehend, waren indessen einst gleichfalls Experimente, und noch dazu solche, die in zahlreichen Fällen denjenigen zur Warnung dienen müssen, welche über die Erbauung ähnlicher Werke entscheiden sollen.

„Kein einziger Fall ist uns bekannt, in welchem man eine flache Böschung ausgeführt hätte, ohne die verheerendsten Wirkungen des Wellenschlags zu erfahren. Dieses beweist Plymouth und Cherbourg. Am letzten Ort wurde innerhalb vierzig Jahren der Damm dreimal über das Hochwasser erhöht, und eben so oft rifs die See den obern Theil wieder fort. Nachdem alle Anstrengungen, durch Wissenschaft und Erfahrung unterstützt, dennoch vergeblich waren, um dem Werke Haltbarkeit zu geben, wurde für den Theil, der über Niedrigwasser vortritt, von dieser Bauart abgegangen, und es blieb keine andre Wahl, als eine senkrechte Mauer darzustellen. Die Zerstörungen, die am Wellenbrecher bei Plymouth vorgekommen, sind zu bekannt, als dafs sie noch erwähnt werden dürften.

„Die beiden benannten Wellenbrecher liegen in tiefen Buchten, betrachtet man dagegen die Charte der Küsten bei Dover, so sieht man, wie wenig hier die Bucht zurücktritt, und wie ein Werk mit flacher Böschung durch Steinschüttung dargestellt, hier ein künstliches Felsriff bilden würde, dessen Brandungen sich bis in das Fahrwasser des Canals erstrecken müfsten. Einer der Ingenieure hat die Steinmasse, welche für den Hafendamm mit flacher Böschung erforderlich ist, auf 7 Millionen Tons (etwa 900 000 Schachtruthen) berechnet.

„Eine vor Kurzem von der Admiralität uns gemachte Mit-

theilung enthält eine lehrreiche Zusammenstellung über den gegenwärtigen Zustand derjenigen Häfen an den Küsten von Irland. wobei flache Böschungen zur Ausführung gekommen sind.

„Die Aufsenseite des östlichen Hafendamms von Kingstown hat fortwährend bedeutende Instandsetzungen erfordert und ist auch gegenwärtig noch keineswegs gesichert.

„Der Damm bei Ardglass, im Jahr 1829 von grofsen Steinblöcken mit flacher Böschung ausgeführt, liegt jetzt mit dem darauf erbauten Leuchtthurm als Ruine in der See.

„Der Hafendamm bei Donaghadee, im Jahre 1820 gleichfalls von mächtigen Steinen und auf der Seeseite mit flacher Böschung versehn, ist durch südwestliche Stürme in der Krone aufgerissen, und ein Theil des Materials liegt in der Mitte der Hafenmündung.

„Der Damm bei Portrush, 1826 mit flacher Böschung aus grofsen Steinen erbaut, war 1844 so beschädigt, dafs der Ingenieur, der mit der Untersuchung beauftragt war, berichtete, 4000 Tons Steine seien vom äufsern Ende der Böschung des Kopfs fortgetrieben und bildeten ein gefährliches Felsriff von 70 Fufs Länge, das 3 Fufs über das niedrige Wasser vorragt.

„Bei Dunmore wurde der Damm im Jahre 1815 gleichfalls aus grofsen Steinblöcken, mit dreifüfsiger Böschung erbaut. 1832 war derselbe so verfallen, dafs der Ingenieur erklärte, die See habe das Pflaster aufgebrochen und den Damm fast in seiner ganzen Länge zerrissen. Die Durchrisse erweiterten sich aber und näherten sich bei jedem Sturm dem Kopf. Bei der Untersuchung 1845 ergab sich, dafs eine Masse grofser Steine aus der Böschung fortgetrieben war, und nunmehr ein Riff bildete, das von dem Kopf des Damms ausgehend, in schräger Richtung sich 112 Fufs weit quer über die Mündung des Hafens erstreckte und bei kleinem Wasser trocken lag.

„Im Gegensatze zu diesen Thatsachen erwähnen wir, dafs nach derselben officiellen Mittheilung der Hafendamm bei Kilrush, der neben der Mündung des Shannon gegen das Atlantische Meer gekehrt ist, bei der Untersuchung im September 1845 in vollkommen gutem Zustande befunden wurde, und seine Unterhaltung seit der Erbauung noch keinen Schilling gekostet

hatte.*) Derselbe stellt sich aber an der Seeseite als senkrechte Mauer dar.

„Diese Thatsachen in Verbindung mit den wichtigen Erörterungen bei den mündlichen Vernehmungen veranlassen uns unbedingt, zu empfehlen, dafs eine nahe senkrechte Mauer zur Umschliefsung des in der Dover-Bai anzulegenden Hafens gewählt werde."

In solcher Weise äufserte sich die Commission, und wenn der von ihr ausgesprochnen Ansicht über die Unhaltbarkeit der bis zum Wasserspiegel, und selbst darüber hinaus aufgeführten flachen Steinböschungen auch nur beigestimmt werden kann, so darf doch nicht unbeachtet bleiben, dafs ein Vergleich zwischen Cherbourg und Plymouth insofern bedenklich ist, als diese beiden Häfen keineswegs einem gleichen Andrange der Wellen ausgesetzt sind. Der Cherbourger Damm wird bei Nord-West-Stürmen am härtesten getroffen, die Wellen laufen alsdann aber nicht normal, sondern sehr schräge gegen ihn, sind auch wohl schon durch die Vorgebirge de la Hague, und noch mehr durch Cap Lizard gemäfsigt, während der Damm bei Plymouth bei Süd-West-Stürmen dem vollen Wellenschlage aus dem Atlantischen Ocean widerstehn mufs.

Dem vorstehnden Gutachten wurde entsprochen, indem der vor Dover erbaute Hafendamm vom Grunde des Meers steil ansteigt und seine beiden Seitenflächen auf 4 Fufs Höhe nur um 1 Fufs zurücktreten. Aus den jährlich erstatteten Berichten ergiebt sich aber, dafs der eigentliche Damm keine irgend nennenswerthe Beschädigung erfahren hat, wenn gleich der im Interesse des Verkehrs darauf gestellte Ueberbau in neuerer Zeit theilweise zerstört ist. Die Ansicht, dafs flache Steinschüttungen an der offnen See ganz unhaltbar sind, hat gegenwärtig sowol in England, wie in Frankreich allgemein Eingang gefunden. Das im vorliegenden Fall gewählte Profil ist jedoch nicht das übliche, oder

*) Dieser Hafendamm aus dem schönen Kalkstein von Foyens aufgeführt, tritt bei einer Breite von 45 Fufs vor die Küste 360 Fufs vor. Die Tiefe vor seinem Kopf beträgt bei Niedrigwasser 7 Fufs und bei Hochwasser 26 Fufs. Er wurde 1830 unter Leitung von Harry Jones erbaut.

man wendet es nur neben und vor den Hafenköpfen an, um die unmittelbare Annäherung der Schiffe bei allen Wasserständen daselbst möglich zu machen. Gemeinhin wird auf eine Steinschüttung, die sich bis zum niedrigsten Wasser erhebt, in ähnlicher Weise, wie bei Cherbourg (Fig. 112) eine Mauer gestellt. Dieses ist auch bei den neuen Hafendämmen vor Marseille geschehn, und in gleicher Art hat man bei Cette dem fortwährenden Herüberschleudern der grofsen Steine Einhalt gethan. Die sehr grofsartigen Hafenanlagen in England bei Holyhead und Portland, von Rendel ausgeführt, sind in gleicher Weise umschlossen. Die Steinschüttungen, welche die Unterlage bilden, werden aber keineswegs besonders flach gehalten, vielmehr giebt man denselben, namentlich in Frankreich, sehr steile Böschungen, das heifst, man versenkt die Steine, soviel es geschehn kann, nur in der Richtung der Mittellinie und überläfst es den Wellen, die passende Dossirung selbst darzustellen. Damit jedoch diese Steine nicht fortwährend in Bewegung kommen, wodurch sie leicht, wie wirklich geschieht, längs des Hafendamms getrieben werden, und endlich vor seinen Kopf treten, so überdeckt man sie mit riesigen Béton-Blöcken von gegen 400 Cubikfufs Inhalt, die zwar anfangs nur den obern Theil der Schüttung sichern, die aber, sobald die untern Lagen forttreiben, herabgleiten, und nunmehr auch diese überdecken. So oft es aber nöthig ist, müssen immer neue Blöcke verstürzt werden.

Die Unhaltbarkeit der flachen Dossirungen, selbst wenn sie aus sehr grofsen Steinen bestehn, hat sich auch an unsern Ostsee-Häfen herausgestellt und besonders hat sich dieses in dem Hafen von Swinemünde gezeigt, wo auf der Binnenseite des Hafendamms durch die herübergeworfnen Steine ein vollständiges Banket sich ausgebildet hat, das ursprünglich hier nicht existirte. Bedenklicher waren aber noch die Veränderungen, die neben dem Kopf eintraten. Die an der äufsern Seite des Damms gegen den Kopf getriebenen Steine haben nämlich hier eine ausgedehnte Bank gebildet, die über die innere Begrenzung des Damms hinaus in den Hafen tritt. Nach besonders heftigen Stürmen sah man immer eine grofse Anzahl von Steinen, von 10 Cubikfufs Inhalt und darüber, auf der Krone und den Dossirungen über Wasser liegen. Wie grofs die Zahl derjenigen war,

die in den Hafen gestürzt sind, liefs sich nicht ermitteln. Die Steine wurden aber nicht nur vom untern Theil der Dossirung. wo sie ganz unregelmäfsig lagen, heraufgestofsen, sondern sie lösten sich auch aus den obern ziemlich ebenen Theilen, und selbst aus der Krone hob der Druck des Wassers zuweilen einzelne heraus. Die Reparatur und Erhöhung der Steindecke mufste fast in jedem Jahr wiederholt werden, da namentlich die äufsersten der regelmäfsig versetzten Steine immer ausgehoben wurden, oder herabstürzten. Ein früherer Versuch, dieselben unter sich zu verklammern, führte zu keinem Resultat, auch das Verstreichen der Fugen mit Cement gewährt bei Stürmen keine Sicherung und am wenigsten für diejenigen Steine, welche unmittelbar an die rohe Schüttung unter Wasser sich anlehnten. Später wurde die seeseitige Dossirung mit grofsen gesprengten und ziemlich regelmäfsig geformten Granit-Blöcken von 20 bis 30 Cubikfufs Inhalt überdeckt. Ohne Zweifel leisteten diese mehr Widerstand, aber es war nicht zu verhindern, dafs sie unregelmäfsig sich senkten, also mit der Zeit den Wellen wieder die Gelegenheit zu stärkerem Angriff boten. Verschiedne Versuche, die seeseitige Dossirung und die Krone aus kleinern Granitstücken in schnell bindendem Mörtel aufzumauern, gaben dagegen günstigere Resultate. Wenn aber auf dem Cherbourger Damm, der dem starken Fluthwechsel und dem heftigsten Wellenschlage ausgesetzt ist, die Steinschüttung übermauert werden konnte, die nur beim niedrigsten Wasser auf wenige Stunden sichtbar war, so durfte man nicht zweifeln, dafs dasselbe Verfahren auch an der Ostsee über Wasser ausführbar ist. Dabei blieb nur die Frage unentschieden, wie man die flache seeseitige Dossirung unter Wasser befestigen und das Eintreiben der dort liegenden Steine in den Hafen verhindern könnte. Bei Behandlung der Construction der Hafendämme wird hierauf zurückgekommen und zugleich nachgewiesen werden, dafs durch Erbauung eines Hafenkopfs, der aus tiefem Wasser steil vortritt und durch Brüstungsmauern an der Seeseite, sowol den Zerstörungen des Damms, wie auch der Bewegung der Steine wesentlich vorgebeugt wird.

Damit die Hafendämme zur Zeit eines heftigen Seegangs noch ziemlich bequem betreten werden können, und nicht zu grofse Wassermassen von den davor ansteigenden Wellen auf den Damm

herabstürzen, solche vielmehr nach der Seeseite zurückgeworfen werden, so geschieht es zuweilen, dafs man die äufsere Fläche des Hafendamms nicht nur in die Vertikale übergehn, sondern im obern Theil sie sogar weiter vorspringen läfst. Bei Dover hat man in dieser Weise die Brustmauer in ihrer äufsern Seite als Hohlkehle behandelt, deren oberer Theil mittelst Ueberkragung um 3 Fufs über die Kehle vortritt. Wenn aber hierdurch bei ruhiger Luft das aufspritzende Wasser auch von dem Damm abgehalten wird, so treibt ein heftiger Sturm es dennoch herüber, und sonach wird hierdurch die Gefahr für die darauf befindlichen Personen keineswegs beseitigt. Namentlich ist diese bei niedrigeren Dämmen mit Brustmauern nicht unerheblich, und man begegnet derselben einigermafsen dadurch, dafs man an die innere Seite der Brustmauer eine Eisenstange oder ein fortlaufendes starkes Tau befestigt, woran die Leute sich halten können, um nicht von dem herabstürzenden Wasser fortgespült zu werden.

Zum sichern Betreten des Damms ist es ferner erforderlich, dafs derselbe hinreichend hoch liegt, und auch die nöthige Breite in der Krone hat. In Frankreich pflegt man zu diesem Zweck die Krone 7 bis 8 Fufs über das höchste Wasser zu legen, und ihr meist eine Breite von 25 Fufs zu geben. Letztere genügt indessen nicht, wenn es Absicht ist, den Schiffen von hier aus nicht nur Hülfe zu leisten, sondern sie an den Hafendämmen auch zum Theil zu befrachten oder zu löschen. In solchem Fall kommt auch die Anlage einer Eisenbahn auf den Hafendämmen in Betracht. In denjenigen Englischen Häfen, wo Personen-Züge sich an Dampfschiff-Verbindungen anschliefsen, und ein starker Verkehr sich gebildet hat, wie etwa bei Dover nach Calais oder bei Holyhead nach Kingstown, fährt der Eisenbahnzug bis auf den Hafendamm und hält neben dem Dampfboot, so dafs die Reisenden nur wenige Schritte gehn und nur die Treppen hinauf- oder herabsteigen dürfen.

Dafs die Dämme in allen Fällen, wo Schiffe an sie anlegen sollen, auf der innern Seite steile Böschungen haben, aufserdem aber auch mit Reibehölzern, Schiffshaltern und Ringen zum Befestigen der Schiffe versehn sein müssen, so wie auch mit Krahnen, Treppen und dergleichen, bedarf kaum der Er-

wähnung. Soweit hierbei gewisse Eigenthümlichkeiten der Einrichtung eingeführt sind, sollen diese bei Beschreibung der Constructionen mitgetheilt werden.

Diese frei in die See tretenden Hafendämme umschliefsen entweder weite Bassins, also Vorhäfen, oder auch langgestreckte Einfahrten. Ueber die erstern bleibt nichts Besonderes zu erwähnen, wohl aber verdienen diejenigen Dämme, die in geringer Entfernung von einander und nahe parallel weit in die See hinaustreten und ein schmales Fahrwasser als Hafenmündung darstellen, in mehrfacher Beziehung eine eingehende Erörterung.

Welche Breite man solchem Halse zu geben pflegt, ist bereits oben § 38 für mehrere Häfen nachgewiesen. In Französischen Häfen, wo nicht leicht die Schiffe an diese Hafendämme anlegen, vielmehr immer nur an denselben vorübergehn, ist es üblich, die Breite dadurch zu bestimmen, dafs drei solcher Schiffe, wie sie den Hafen zu besuchen pflegen, neben einander Platz finden. In dieser Art ist die Breite des Halses von der Gröfse der hindurchgehnden Schiffe abhängig.

Der Zweck dieser weit hinaustretenden Hafendämme ist kein andrer, als dafs man durch sie die Hafenmündung in tieferes Wasser verlegen wollte, mit wenigen Ausnahmen sind auch diese Dämme nur durch allmälige Verlängerung entstanden, und bei ihrer ersten Anlage war es keineswegs Absicht, sie so weit herauszuführen, wie nach und nach geschehn ist. Das Bedürfnifs hierzu trat aber ein, indem der Strand oder auch die Barre, die vor dem Strande liegt, der Verlängerung der Dämme entsprechend immer weiter zurückwich. Der innige Zusammenhang zwischen dieser Erscheinung und der Verlängerung der Hafendämme ist bereits ausführlich erörtert, und es giebt wohl keinen Hafenbaumeister, der dieselbe noch bezweifelte. Minard hat in einem besondern Abschnitt seines Werks nachgewiesen*), wie bei den Französischen Häfen nach jeder neuen Verlängerung der Dämme auch die Untiefen weiter rückten und vor die Köpfe vortraten. Er erwähnt aber, dafs sich dieses für Calais nicht nachweisen lasse. Es ergiebt sich hieraus, wie vorsichtig man sein mufs, eine

*) Cours de Construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer. Chapitre XVII.

weitere Verlängerung in Vorschlag zu bringen, und man darf dabei nicht unbeachtet lassen, welche grofse Uebelstände für den Schiffsverkehr durch solche Verlängerung des Hafens herbeigeführt, oder immer fühlbarer gemacht werden, und wie sehr zugleich die Kosten für die Unterhaltung sich dadurch steigern. Minard macht auch darauf aufmerksam, dafs diejenigen Französischen Häfen, die mit einer solchen langen Einfahrt (chenal) versehn sind, ursprünglich in einer Ufer-Bucht lagen, dafs letztere sich aber später anfüllte und nicht nur verschwand, sondern in manchen Fällen der Strand neben dem Hafen an Breite so zunahm, dafs er nunmehr sogar eine vorspringende Ecke bildet.

Sehr wichtig ist die Frage, wie diese Dämme anzuordnen sind, damit möglichst wenig von dem Sande und Kiese in die Mündung tritt, den Küstenströmung und Wellenschlag herbeiführen, und damit auch die Schiffe beim Einkommen dem Wellenschlage und der Querströmung bald entzogen werden. Man glaubte dieses dadurch zu erreichen, dafs man nur auf derjenigen Seite, die von der stärksten Küstenströmung und den herrschenden Winden getroffen wird, einen höheren Hafendamm ausführte, auf der gegenüberliegenden dagegen den Damm so niedrig liefs, dafs er nur so eben den ausgehnden Strom bei Niedrigwasser, oder den Spülstrom zusammenhielt. So war in früherer Zeit diese Anordnung in mehreren Französischen Häfen wirklich getroffen. Es zeigten sich indessen dabei verschiedne Uebelstände. Sobald der Wind die entgegengesetzte Richtung annahm, wurde der Wellenschlag im Hafen gefährlich, und zugleich traten alsdann auch starke Verlandungen ein. Dazu kam noch, dafs bei dieser Richtung des Windes, der die Schiffe gegen den Damm trieb, auf welchem das Treideln allein möglich war, letzteres sich nur mit Mühe ausführen liefs. Endlich aber wiederholte sich sehr häufig der Fall, dafs die einkommenden Schiffe auf den niedrigen und zur Zeit des Hochwassers vollständig überflutheten Damm aufliefen, selbst wenn die Richtung desselben durch hohe und feste Baaken bezeichnet war. Aus diesen Gründen hat man sich mit Ausnahme einiger wenigen kleinern Häfen überall veranlafst gesehn, dem zweiten Damm gleichfalls die volle Höhe zu geben.

In manchen Häfen, wie zum Beispiel in Gravelines, bleiben sogar beide Dämme unter dem Hochwasser, und in früherer

Zeit hielt man diese Anordnung für besonders vortheilhaft, weil man nur den Spülstrom, der immer zur Zeit des kleinsten Wassers dargestellt wird, zusammenhalten wollte, das Hochwasser sollte dagegen frei darübergehn, damit der Sand, der sich längs des Strandes bewegt, nicht aufgehalten würde, vielmehr unbehindert seine Bewegung fortsetzen könnte. Obwohl es zweifelhaft ist, ob dieser Zweck wirklich erreicht wird, da auch die unter Wasser liegenden Dämme zu Ablagerungen Veranlassung geben, so sind dennoch in der Mündung des Adour-Flusses, dem Hafen von Bayonne, in neuster Zeit wieder Dämme ausgeführt, die sogar unter dem niedrigsten Wasser bleiben und nur mittelst aufgesetzter hölzerner Tafeln den Spülstrom zusammenhalten, während in Abständen von 16 Fuſs Pfeiler aufgemauert sind, die eine leichte Brücke tragen. Ein Modell dieser Dämme war in Philadelphia ausgestellt.

Die beiderseitigen Hafendämme, die gemeinhin nahe normal gegen das Ufer gerichtet sind, haben meist nicht gleiche Länge, vielmehr tritt der eine mehr oder weniger gegen den andern vor. In der Regel giebt man demjenigen die gröſsere Länge, der sich auf der Seite befindet, von wo die heftigsten Winde das Ufer treffen. Derselbe erleichtert alsdann das Einkommen der Schiffe bei starkem Seegange, indem das Schiff schon durch ihn gedeckt wird, während es den Kopf des andern Hafendamms passirt, gegen welchen es durch Wind und Wellen getrieben wird. Ist der Unterschied der Länge nicht gar zu geringe, so kann das Schiff in dem stilleren Wasser auch seinen Curs ändern und etwas mehr in den Wind halten, also die Mündung noch erreichen und von dem zweiten Kopfe frei bleiben, wenn es auch beim Ansegeln gegen denselben gerichtet gewesen wäre. Sollte die Richtung des stärksten Windes mit dem des herrschenden oder des gewöhnlichen Windes übereinstimmen, so würde die Verlängerung des demselben zugekehrten Damms noch um so vortheilhafter sein, weil dadurch in gewöhnlichen Fällen schon derselbe Vortheil einträte. Dazu kommt noch, daſs das ansegelnde Schiff von dem vorspringenden Hafenkopf aus, falls der Wind nicht günstig wäre, leicht eingeschleppt werden kann, und eben so wird es auch beim Ausgehn von hier aus absegeln können, ohne auf den gegenüberliegenden Hafenkopf aufzulaufen.

Zuweilen haben besondre örtliche Verhältnisse zu einer Abweichung von dieser Regel Veranlassung gegeben. So ist bereits erwähnt worden, dafs nach der Zerstörung der beiderseitigen Dämme vor dem Cherbourger Handelshafen nur der rechtseitige oder der östliche in seiner frühern Länge wieder hergestellt, und weiter, als der gegenüber liegende, herausgeführt wurde, wiewol hier die westlichen Winde nicht nur die herrschenden, sondern auch die heftigsten sind. Der Verkehr von Cherbourg ist indessen, wie Minard ausführt, überwiegend westwärts gerichtet, die Schiffe gehn also bei östlichen Winden aus, und deshalb mufste der östliche Damm auch in gröfserer Länge dargestellt werden. Das Einkommen der Schiffe durfte hier dagegen wegen der geschützten Rhede weniger in Betracht gezogen werden.

Die vorstehend erwähnten Rücksichten beziehn sich allein auf das Ein- und Ausgehn der Schiffe, die Sicherung der Tiefe verdient indessen vorzugsweise Berücksichtigung. Sehr allgemein ist man der Ansicht, dafs auf der Seite, von wo der Küstenstrom den Hafen trifft und demselben den Sand und Kies zuführt, die längere Mole liegen müsse. Von dieser Regel wird jedoch vielfach abgewichen. Bei Swinemünde ist in sehr auffallender Weise das Gegentheil geschehn.

Andrerseits hört man auch zuweilen die Ansicht aussprechen, dafs neben dem am weitesten vortretenden Kopf und zwar an der von der Richtung der Küstenströmung abgekehrten Seite eine Ablagerung sich zu bilden pflegt. Diese würde daher, falls der Damm, welchen die Küstenströmung trifft, der längere wäre, in dem Fahrwasser liegen, also dasselbe sperren, oder doch beengen. Sie würde aber aufserhalb des Fahrwassers bleiben, wenn der hintere Damm verlängert wäre. Hierdurch wird die bei Swinemünde und sonst getroffne Anordnung unterstützt. Dagegen ist aber anzuführen, dafs diese Auffassung nicht immer durch die Erfahrung bestätigt wird. Die Joachims-Fläche bei Swinemünde zeigt dieses, dieselbe hat auch in der That seit Erbauung der Dämme sich bis an den Kopf der westlichen Mole ausgedehnt. Die weit vortretende östliche Mole hat diese Ablagerung aber nicht verhindert, an ihrem Kopf ist dagegen eine ähnliche Ablagerung nicht zu bemerken. Bei Stolpmünde und Colbergermünde

wiederholte sich auch dieselbe Erscheinung. Wenn dagegen, wie in diesen Beispielen, die Hafendämme nicht gerade Linien, vielmehr Bogen bilden, die sich in gleichem Sinn krümmen, so erfolgt an der concaven Seite eine Concentrirung der ausgehnden Strömung, und sobald diese entschieden eintritt, so wird der gegenüber befindliche Hafendamm, der die convexe Seite des Stroms bildet, grofsentheils entbehrlich. Hierdurch erklärt sich die in Swinemünde getroffne Anordnung. Es mufs aber noch darauf hingewiesen werden, dafs das Fahrwasser nicht zu stark gekrümmt werden darf, weil alsdann neben der concaven Mole die Tiefe leicht bedeutend gröfser wird, als die Schiffahrt es fordert, und da eine bestimmte Profilfläche durch die Strömung nur offen erhalten werden kann, so verstärken sich die Ablagerungen vor dem concaven Ufer, und die Breite des Fahrwassers vermindert sich. Auch dieser Erfolg kann unter Umständen den Schiffsverkehr erschweren.

Ohnerachtet der vorstehend angeführten Gründe für die weitere Hinausführung des einen oder des andern Hafendamms dürfte es sich im Allgemeinen doch empfehlen, beide gleich weit vortreten zu lassen, oder beide Köpfe einander gegenüber zu legen. In den Französischen Häfen ist dieses auch meist geschehn.

Endlich bleibt noch die Frage zu beantworten, ob man die Dämme normal gegen das Ufer legen, oder unter welchem Winkel man sie gegen die Küstenströmung richten soll. Minard empfiehlt sie so zu legen, dafs ihre Richtung sich an die des Küstenstroms anschliefst, und zwar denjenigen Damm, der die concave Seite des ausgehnden Stroms bildet, weiter vortreten zu lassen, damit das antreibende Material nicht in die Hafenmündung tritt. Sollte aber auf der Binnenseite dieses Damms sich dennoch eine Ablagerung bilden, so würde der ausgehnde Strom, der sich hier concentrirt, solche leicht beseitigen. Ein andrer Grund, den er dafür angiebt, dafs nämlich bei dieser Anordnung der Hafen auch gegen das Eintreten der stärksten Wellen gesichert werde, ist zwar für die Häfen am Canal, aber nicht für diejenigen an dem südlichen Ufer der Ostsee zutreffend.

Wenn man indessen auch von dem letzten Grunde absieht, so möchte sich dennoch fragen, ob die Ablagerungen vor der

Mündung, welche das Fahrwasser nach der offnen See bedrohn, sich nicht ungünstiger gestalten, wenn die Mündung in die Richtung des Küstenstroms, als wenn sie gegen diese gewendet ist. Es kommt hierbei die Aehnlichkeit zwischen einem Hafendamm und einer Buhne in Betracht, und insofern die letztere gewöhnlich eine stärkere Verlandung veranlafst, wenn sie inclinant, als wenn sie declinant ist, so möchte die Ansicht von Minard hierin Bestätigung finden.

In dieser Weise sprach sich auch Rendel aus, als er bei Gelegenheit der bereits erwähnten commissarischen Untersuchung über den bei Dover anzulegenden Sicherheitshafen aufgefordert wurde, sich über die zu erwartenden Verlandungen zu äufsern. Er antwortete nämlich auf die Frage, wie es sich mit der Verflachung im Hafen bei Ramsgate verhalte: „Ich kann mir keinen vollkommneren Schlammfang denken, als den Ramsgater Hafen, denn dort haben sie jetzt an den Kopf des einen Damms einen Flügel angebaut, um jedes Sandkörnchen aufzufangen, was dieser, indem er weit in den Strom hineintritt, irgend erreichen kann.“

Durch den erwähnten Flügel wird die Hafenmündung dem Strom entgegengekehrt, und sonach würde derselbe Vorwurf alle Häfen treffen, deren Mündungen diese Richtung haben. Nichts desto weniger sind die Verhältnisse vor einem Hafen doch wesentlich verschieden von denen eines nicht unterbrochenen Ufers, denn bei jeder Einströmung wird der Sand eben sowol hinter einem declinanten, wie hinter einem inclinanten Damm zugleich mit dem Wasser in den Hafen hineintreiben, und selbst die Vorstellung, dafs ein vortretendes Werk, vor dem das Wasser vorbeiströmt, allen Sand auffangen soll, der neben dem Ufer treibt, entspricht wenig der wirklichen Erscheinung.

Die bei Swinemünde erfolgten Sandablagerungen bestätigen keineswegs Rendel's Ansicht. Hier tritt die östliche Mole in viel gröfserer Ausdehnung dem Küstenstrom entgegen, als jener Flügel vor dem Ramsgater Hafen, aber sie fängt keineswegs allen ihr entgegentreibenden Sand auf, vielmehr hat derselbe ihr gegenüber eine Verflachung gebildet, die sogar weit über sie hinausreicht. Die Wirkung der ausgehnden Strömung stellt sich also überwiegend heraus, und sobald letztere so kräftig und so lange anhaltend ist,

wie bei Swinemünde, so darf man die Hafendämme nicht mehr nach den Erfolgen der Buhnen beurtheilen.

Minard macht noch auf einen Umstand aufmerksam, der die Unhaltbarkeit dieses Vergleiches in andrer Beziehung darthut. Vor dem Kopf einer Buhne, die in einen oberländischen Strom hineintritt, bilde sich nämlich eine grofse Tiefe, aber nie geschehe dieses vor dem Kopf eines Hafendamms. Die letzte Angabe ist indessen nur richtig, wenn keine Strömung statt findet. Sie widerlegt sich schon durch die gröfsern Tiefen, die man vor dem westlichen Hafendamm bei Swinemünde bemerkt. Auch bei Stolpmünde bildete sich im Jahre 1857, als die Mündung sich beinahe ganz mit Kies angefüllt hatte, eine schmale Rinne von mehr als 18 Fufs Tiefe, die vor den Hafenköpfen parallel zum Strande sich hinzog. In diesem Fall war aber die Ausströmung lange Zeit hindurch, wenn auch nicht ganz unterbrochen, doch übermäfsig geschwächt gewesen, und dadurch waren die Verhältnisse denen einer vortretenden Buhne ähnlich geworden. Im Allgemeinen darf man aber bei Buhnen oder Einbauen an Meeresufern nicht so starke Vertiefungen, wie vor Strom-Ufern erwarten, weil die Haupt-Veranlassung zu solchen, nämlich die Beschränkung des Profils, hier gewöhnlich nicht in Betracht kommt. Nur wenn ausgedehnte Sandbänke davor liegen, welche Spaltungen des Küstenstroms bewirken, kann die Beschränkung der nächst liegenden Rinne ähnliche Erfolge haben.

Bisher ist vorzugsweise von solchen Hafendämmen die Rede gewesen, welche dichte Wände bilden, und daher die seitliche Verbindung mit dem Meer vollständig, oder doch beinahe ganz aufheben. Der Abschlufs ist nicht vollständig, wenn der Unterbau aus Steinschüttung besteht, auch keine grofse Breite hat, da zwischen den Steinen die äufsere Wellenbewegung in geringem Maafse sich durch den Damm bis in den Hafen fortsetzt. Zuweilen finden sich in den Hafendämmen auch weite Oeffnungen, welche den Wellen freien Eintritt gestatten.

Die alten Hafendämme, deren Ruinen man in der Umgegend von Neapel und in der Nähe von Rom noch sieht, bestehn nämlich aus einzelnen Pfeilern von gröfserer oder geringerer Länge, die durch freie Zwischenräume von

verschiedner Weite von einander getrennt sind. Juliano Facio*) hat die Nachrichten hierüber gesammelt, auch die noch wahrnehmbaren Thatsachen zusammengestellt, und sich dahin ausgesprochen, dafs diese Anordnung der Hafendämme wesentliche Vortheile in Betreff der Erhaltung der Tiefe biete. Das wichtigste Beispiel dieser Art ist der Hafen von Antium, der vor der ziemlich geraden Küste liegt, in der wahrscheinlich früher eine Einbucht statt fand, die gegenwärtig verlandet ist. Der Theil des Hafens, der in das offne Meer tritt, ist etwa 180 Ruthen lang und 80 Ruthen breit. Zwei Dämme umschlossen ihn und bildeten zwei getrennte Eingänge. Aufserdem befinden sich im Innern noch zwei andre unregelmäfsige Dämme. Die Gesammtlänge von allen mifst etwa 400 Ruthen. In diesen Hafendämmen, die zum kleinsten Theil im vorigen Jahrhundert erneut sind, grofsentheils aber in Trümmern liegen und nur an wenigen Stellen noch über das Wasser hervorragen, befinden sich eine Menge Oeffnungen, die etwa 18 Fufs weit und mit Bogen überspannt gewesen zu sein scheinen. Die dazwischen befindlichen Pfeiler haben dagegen die Länge von 100 bis 150 Fufs, und dürften in dem westlichen Damm noch gröfser gewesen sein. Die Breite der Dämme mifst etwa 30 Fufs. Aehnliche und, wie es scheint, verhältnifsmäfsig noch gröfsere Oeffnungen kommen auch in den Resten der Hafendämme von Puzzuoli, Misene und Nisita vor.

Gewifs ist die Frage wichtig, welchen Zweck diese Oeffnungen hatten, und ob man dabei vielleicht eine ähnliche Absicht verfolgte, wie bei Anlage der Dämme vor dem Hafen von Pesaro (vergl. § 39). Sganzin macht darauf aufmerksam, dafs, wenn der Wellenbrecher bei Cherbourg nach de Cessarts ursprünglichem Plan, also ohne Verbindung der Kegel, die man nachträglich einführte, zur Ausführung gekommen wäre, man hier gleichfalls einen vielfach durchbrochnen Hafendamm dargestellt haben würde.

---

*) Intorno al miglior sistema di costruzione de' Porti, Napoli 1828, und nuove osservazioni sopra i pregi de' porti degli antichi. Napoli 1832. — Auszüge der ersten Schrift und zwar mit Beifügung mehrerer Situationszeichnungen sind von Lemoyne in den Annales des ponts et chaussées 1832, 1837 und 1839 mitgetheilt.

Gewifs liegt die Vermuthung nahe, dafs, wie in diesem Fall die Construction einzelner Theile des Hafendamms leichter erschien, als die Darstellung desselben im Zusammenhange, so auch bei den alten Häfen dieselbe Rücksicht zu einem ähnlichen Verfahren geführt hat. Diese Ansicht gewinnt noch an Wahrscheinlichkeit, und man darf an ihrer Richtigkeit kaum zweifeln, wenn man darauf Rücksicht nimmt, dafs diese Hafendämme aufgemauert sind. Dafs Fangedämme im offnen Meer erbaut, und die eindringenden Wassermassen in damaliger Zeit beseitigt sein sollten, ist gewifs nicht anzunehmen. Dagegen kannte man die Methode, Schiffe mittelst Steinladungen zu versenken, und wenn die Fahrzeuge zu diesem Zweck besonders erbaut waren, und nicht nur mit Steinen vollgepackt, sondern ausgemauert wurden, so verwandelten sie sich in die auch noch üblichen Senkkasten oder Caissons. Diese liefsen sich aber nicht dicht schliefsend neben einander stellen vielmehr blieben freie Zwischenräume, die 18 Fufs weit waren. In dieser Weise wären also die in Rede stehnden Oeffnungen nicht zur Erhaltung der Tiefe im Hafen angebracht, sondern sie entstanden, weil man sie nicht vermeiden konnte. Ueber Wasser wurden sie aber mit Bogen überspannt, damit der Hafendamm nicht unterbrochen würde.

Facio ist, wie erwähnt, andrer Ansicht. Er meint, der Zweck dieser Oeffnungen sei gewesen, die Küsten-Strömung im Hafen nicht zu unterbrechen. Nach allen sonstigen Erfahrungen würde indessen der Sand oder der Kies, der auf der Stromseite durch eben diese Oeffnungen in den Hafen dringt, von der geringen Strömung im Innern nicht herausgetrieben werden, vielmehr darin liegen bleiben. Diese Oeffnungen konnten sonach die Verflachungen nicht verhindern, sondern verstärkten dieselben wohl in gleicher Art, wie die zweite Mündung im Hafen von Cette dieses thut. Ob sie unter gewissen Umständen die Wellenbewegung etwas mäfsigen, ähnlich den Seiten-Canälen, wovon § 33 die Rede war, mufs dahingestellt bleiben.

§ 40a.

Beispiele im Auslande.

Nachdem vorstehend die verschiednen Mittel bezeichnet sind, durch welche man die schiffbare Verbindung zwischen dem Meer und den Mündungen grofser Ströme oder Häfen darstellen kann, scheint es angemessen, einige Anlagen dieser Art näher zu beschreiben, zugleich aber auch mitzutheilen, dafs zuweilen solche Unternehmungen, wenn sie nicht mit der nöthigen Vorsicht behandelt wurden, nicht zum Ziel führten. Vorzugsweise wirksam ist dabei die Strömung, und es kommt daher darauf an, diese zu verstärken und zwar entweder indem man die Wassermasse vergröfsert, oder wenn dieses nicht möglich ist, sie in einem scharf begrenzten Schlauch zusammenzuhalten, und dadurch ihrer Wirkung auf das Fahrwasser zu Hülfe zu kommen.

Wo ein starker Fluthwechsel statt findet, bietet dieser schon Gelegenheit, die hin und her fliefsende Wassermasse zu vergröfsern, indem man die Hindernisse, die ihr entgegentreten, möglichst beseitigt. Es mag wieder daran erinnert werden, dafs hierdurch nicht nur die Mündungen, sondern auch die Ströme selbst verbessert und das weitere Aufgehn der Seeschiffe wesentlich gefördert werden kann. Schon § 9 wurde auf die in solcher Weise an der Clyde erreichten Erfolge, die im II. Theil dieses Handbuchs § 49 näher bezeichnet sind, hingewiesen. In ähnlicher Weise ist in neuerer Zeit auch der untere Lauf der Seine bedeutend verbessert.

Rouen, 16 Deutsche Meilen von der Mündung der Seine entfernt, wurde schon früher Seehafen genannt, doch konnten nur kleine Seeschiffe von 50, höchstens von 100 Last Tragfähigkeit zwischen den daselbst liegenden vielen und hohen, und noch dazu sehr veränderlichen Sandbänken soweit aufkommen. Nachdem indessen 1846 die Regulirung des Stromlaufs von unten nach oben bei Quilleboeuf begonnen, und seitdem fortgesetzt ist, haben die Verhältnisse sich wesentlich geändert. Auf sehr grofse Längen sind Parallelwerke durch Schüttungen roher Kalksteine ausgeführt, welche nunmehr regelmäfsige Ufer vorzugsweise an den concaven

Seiten bilden. Die bisherigen flachen Stellen haben sich dadurch vielfach um 14, stellenweise sogar um 25 Fuſs vertieft. Diese Senkungen der Sohle haben freilich keineswegs in gleichem Maaſse den Wasserstand im Fahrwasser erhöht, vielmehr ist durch die Regulirung auch hier, eben so, wie bei der Clyde, das Wasser stark herabgesunken. Bei mittlren Ebben steht das Wasser gegenwärtig mehr als 3 Fuſs tiefer, als früher. Nichts desto weniger kommen von Jahr zu Jahr gröſsere Schiffe nach Rouen, und 1877 ankerte daselbst sogar ein solches von 20 Fuſs Tiefgang. Auffallend ist es, daſs bei diesen wesentlichen Aenderungen der Fluthverhältnisse die Erscheinung des Mascarets (§ 9) noch in gleicher Weise, wie früher, auftritt.

Was die Verbesserung der Strom-Mündungen betrifft, von denen hier die Rede ist, so mögen zunächst die Anlagen in der Mündung der Donau beschrieben werden.*) In diese konnten bisher nur Schiffe von 9 Fuſs Tiefgang einlaufen, und oft verflachte sie sich noch mehr, während die merkantilische Bedeutung dieser Straſse bei der groſsen Ausdehnung des Stromgebiets überaus wichtig war, und keineswegs allein auf die dahinter liegenden Staaten sich beschränkte, sondern in dem zu Paris unter dem 30. März 1856 abgeschlossenen Vertrage als eine internationale anerkannt wurde. Dabei wurde zugleich beschlossen, daſs sieben Staaten, nämlich Oesterreich-Ungarn, Preuſsen (dafür später Deutschland), Frankreich, Groſs-Britannien, Italien, Ruſsland und die Türkei Commissare ernennen sollten, welche die passendsten Wege zur Verbesserung der Mündung zu bezeichnen und die spätere Ausführung als Europäische Commission zu überwachen hätten.

Sobald die Commission zusammengetreten war, übertrug sie dem Englischen Ingenieur Charles Hartley die technische Leitung des ganzen Unternehmens. Derselbe muſste bei dem gänzlichen Mangel an allen Vorarbeiten zunächst diese ausführen. Nachdem er mit den localen Verhältnissen sich hinreichend bekannt

*) Die folgenden Angaben sind aus den zwei Berichten: Memoire sur les travaux d'amélioration exécutés aux embouchures du Danube par la commission Européenne. Galatz 1867 und Leipzig 1873, entnommen.

gemacht hatte, erstattete er unter dem 17. October 1857 hierüber Bericht. Nach seiner Angabe sammelt die Donau auf einer Fläche von mehr als 14 000 Deutschen Quadratmeilen ihre Quellen. Sie spaltet sich bei Tchatal d'Ismail, etwa 3 Meilen oberhalb Isaktscha, in zwei Arme. Der eine, der 63 Procent der Wassermenge aufnimmt, wendet sich ostwärts nach Kilia, der andre, der 37 Procent abführt, fliefst südöstlich nach Toultcha. Der erste spaltet sich darauf in drei Arme, die jedoch vor Staroï-Kilia sich wieder verbinden. Eine zweite und dauernde Trennung in 3 Arme erfolgt aber eine Meile weiter, und endlich tritt dieser Kilia-Arm sogar durch 8 Mündungen in das Schwarze Meer.

Der zweite von Tchatal d'Ismail ausgehnde Arm theilt sich $2^1/_2$ Meilen abwärts, hinter Toultcha bei Tchatal St. Georges wieder in zwei Arme. Der linkseitige, der bald auf eine kurze Strecke sich aufs Neue spaltet und eine Insel umschliefst, ergiefst sich bei Sulina durch eine einzige Mündung in das Meer. Der rechtseitige oder der Arm von St. Georg zeigt in seinem ganzen Lauf keine nennenswerthe Spaltung, wohl aber findet eine solche an seinem untern Ende statt, woselbst zwei Mündungen sich gebildet haben. Durch diesen Arm werden 30, durch den von Sulina dagegen nur 7 Procent der ganzen Wassermasse der Donau abgeführt.

Was die Längen der drei Arme betrifft, so messen dieselben von Tchatal d'Ismail ab gerechnet;

Kilia-Arm	$13^1/_3$	Meilen
Sulina-Arm . . .	$13^1/_2$	"
St. Georg-Arm . .	16	"

Der erste bietet in der ganzen Länge seines Laufs die wenigsten Schiffahrtshindernisse, auf der Barre vor seinen acht Mündungen betragen die Tiefen aber nur 3 bis 5 Fufs, während zugleich die Sandablagerungen sich weit seewärts ausdehnen. Hierzu kommt noch, dafs dieser Arm gegen den Bosporus, wohin der Schiffsverkehr der Donau sich beinahe ausschliefslich wendet, der entlegenste ist.

Der Sulina-Arm bietet in seinem Lauf mehrfache und zum Theil selbst gefährliche Schiffahrtshindernisse, seine Mündung in das Schwarze Meer zeigte indessen damals noch die geringsten Schwierigkeiten, da die Tiefe 7 bis 12 und durchschnittlich 9 Fufs

auf der Barre mafs, auch lag hier die für gröfsere Schiffe erforderliche Tiefe im Meer am nächsten. Dieser Arm war demnach bisher auch ausschliefslich benutzt worden.

Der St. Georg-Arm endlich war in seiner ganzen Ausdehnung bis zur Mündung etwas günstiger, als derjenige von Sulina. Vor seinen beiden Mündungen betrug die Tiefe aber nur 7 Fufs.

Zur nähern Bezeichnung der Localität mufs noch erwähnt werden, dafs in dem ganzen Delta, welches diese drei Arme gebildet haben, und das einen Flächenraum von $4\frac{1}{2}$ Quadratmeilen umfafst, nur sehr wenige Ortschaften neben den Flüssen liegen, und nur in der Nähe derselben einige bebaute Felder vorkommen. Die ganze übrige Fläche ist mehr oder weniger mit Gebüsch bedeckt oder besteht aus Sümpfen und Wasserflächen. Sie erhebt sich nur 1 oder 2 Fufs über den gewöhnlichen Wasserstand der Flufsläufe und dacht sich so wenig ab, dafs das absolute Gefälle von Tchatal d'Ismail bis zum Schwarzen Meer, also auf etwa 6 Meilen Entfernung, noch nicht 10 Fufs beträgt. Wegen der vielfachen Krümmungen der drei Arme ist das relative Gefälle derselben sehr gering, und die Geschwindigkeit des Wassers in ihnen ist etwa $2\frac{1}{2}$ Knoten, oder 4 Fufs in der Secunde. Der Boden besteht grofsentheils aus Sand, doch ist derselbe mit etwas Thon gemengt und nicht selten findet man darin auch reine Thonablagerungen von mäfsiger Stärke.

Ende August 1857 bei einem Wasserstande, der nach den am obern Ende des Sulina-Arms angestellten Beobachtungen nahe der mittlere war, führte

der Kilia-Arm . . .	187 000	Rheinl. Cubikfufs
der Sulina-Arm . .	22 000	„ „
und der St. Georg-Arm .	88 000	„ „

ab. Bei starken Anschwellungen enthält das Wasser der Donau dem Rauminhalt nach nahe 4 Procent erdige Stoffe, unter gewöhnlichen Verhältnissen aber nur den 330. Theil eines Procents. Noch verdient Erwähnung, dafs nach Aussage der Schiffer vor den Donau-Mündungen in der Regel im Schwarzen Meere eine südwärts gerichtete Strömung statt finden soll, die auf 1 Knoten geschätzt wird, also auf nahe 2 Fufs in der Secunde.

Nach ausführlicher Darstellung der hier angedeuteten Local-

Verhältnisse, äufsert sich Hartley dahin, dafs von dem Kilia-Arm unbedingt abgesehn werden müsse, in der Wahl zwischen den beiden andern entscheidet er sich aber für den Sulina-Arm, obgleich derselbe der schwächste ist, auch am meisten der Correction des obern Laufs bedarf, aber in seiner Mündung lasse sich am leichtesten ein tiefes Fahrwasser nach der See darstellen und erhalten. Dabei wird zugleich das Project angedeutet, wonach die Correction auszuführen sei. Die Mündung solle durch beiderseitige Dämme oder Molen auf 600 Fufs verengt werden. Der linkseitige Damm sei bis zur Tiefe von 18 Fufs hinauszuführen, während der rechtseitige um 500 Fufs gegen den ersten zurückbleibe, eventuell sei auch dieser so weit hinauszuführen. Hartley meint, dafs hierdurch dem Fahrwasser dauernd die Tiefe von 18 Fufs werde gegeben werden können.

Fig. 117 A auf Taf. XX a zeigt in der Schrafirung mit Querstrichen die Lage der damaligen Ufer, so wie auch die mit Kreuzen versehnen Linien die 1857 gemefsnen Tiefen bezeichnen, indem die Anzahl der dazwischen liegenden Punkte die der Faden angiebt. Das Project, welches später zur Ausführung gekommen, und welches die Figur in den starken Linien bezeichnet, stimmt wesentlich mit diesem zuerst aufgestellten überein.

Als Hartley dieses Project der zur Ueberwachung der Arbeiten niedergesetzten permanenten Commission vorgelegt hatte, erklärte sich dieselbe unter dem 25. August 1858 entschieden dagegen. Nicht der Sulina-, sondern der St. Georgs-Arm solle gewählt werden, doch sei nicht die Mündung des Stroms zu reguliren und zu verengen, sondern ein Seiten-Canal, der am obern Ende durch eine Schiffahrtsschleuse geschlossen würde, sei auszuführen. Ein solcher sei sogleich zu projectiren und zu veranschlagen, doch solle gleichzeitig die Sulina-Mündung durch Baggern vertieft werden, um die Schiffahrt etwas zu erleichtern.

Mit dieser Vertiefung wurde auch sofort vorgegangen, indem die Türkische Regierung einen Dampfbagger zur Verfügung stellte. Diese Arbeit setzte man mehrere Jahre hindurch fort, obwohl sie gar keinen Erfolg hatte, da die ausgehobenen Rinnen in der kürzesten Zeit und namentlich bei einigem Wellenschlage sich immer sogleich wieder füllten.

Im December 1858 trat die Europäische Commission wieder zusammen und erklärte sich mit der von der permanenten Commission ausgesprochnen Ansicht einverstanden. Da jedoch der Anschlag für den Canal- und Schleusenbau auf 17½ Millionen Francs abschlofs, und nicht abzusehn war, wie diese Summe beschafft werden könnte, auch auf die grofse Erschwerung der Schiffahrt aufmerksam gemacht wurde, wenn jedes einzelne Schiff durchgeschleust werden müfste, deren Anzahl schon nach den bisherigen Erfahrungen jährlich sich etwa auf 6000 belief, so beschlofs sie, dafs die Entscheidung noch von der nähern Untersuchung andrer ähnlicher Anlagen und den dadurch erreichten Erfolgen abhängig gemacht werden solle.

Die sehr wichtige Frage, ob eine Mündung, in welcher die ausgehnde Strömung ganz fehlt, an diesem sandigen Ufer überhaupt offen erhalten werden könne, und ob sie nicht, nachdem sie künstlich dargestellt, beim nächsten Sturm wieder geschlossen werden würde, blieb ganz unberührt. In dieser Beziehung mufs noch erwähnt werden, dafs von der Sulina-Mündung die Entfernungen der gegenüberliegenden Ufer des Schwarzen Meers, also die Ausdehnungen der Wasserflächen, welche die verschiednen Winde bestreichen, die folgenden sind, die mit geringen Modificationen auch für die beiden andern Mündungen gelten:

nach Nord-Osten . .	29	deutsche	Meilen
„ Osten	32	„	„
„ Ost-Süd-Osten .	144	„	„
„ Süd-Osten . . .	64	„	„
„ Süden	58	„	„

Wenn demnach, wie angegeben wird, der Nord-Ostwind in dieser Gegend der gewöhnliche ist, so wird derselbe vor dem Ufer des Donau-Delta's, das sich nahe von Norden nach Süden erstreckt, nicht so heftigen Wellenschlag erregen, als alle südlichen, und vorzugsweise der Ost-Süd-Oestliche Wind. Man hat später die Erfahrung gemacht, dafs gerade dieser Wind, der die Ausströmung am meisten unterbricht, die gröfsten Sandmassen in Bewegung setzt, und daher die Barre besonders schnell erhöht und die Mündung verflacht.

Bei den nunmehr vorgenommenen Baggerungen wurden vielfach Sträucher und Wurzeln ausgehoben, die also unbedingt aus dem

Binnenlande herabgeführt waren, aber die Hauptmasse bestand aus einem mit Seemuscheln vermengten Sande. Dieser war jedoch wohl weniger von der Nord-, als von der Südseite angetrieben. Die Vergleichung der Ufer und der Tiefenlinien von 1857 und 1871, die in derselben Figur angegeben sind, zeigt auch deutlich, dafs die ausgeführten Molen auf der Südseite grofse Verlandungen und Verflachungen veranlafst haben, während auf der Nordseite sowol das Ufer, wie die nächsten Tiefenlinien landwärts gewichen sind.

Bei Beantwortung der Frage, ob die Ablagerungen in der Mündung von dem durch den Strom herabgeführten Material herrühren, oder durch die Wellen angetrieben werden, kommt noch der wichtige Umstand in Betracht, dafs man bemerkte, wie während der Anschwellung der Donau das abfliefsende Wasser zwar durch die beigemengten erdigen Theilchen stark gefärbt war, dafs es aber, nachdem es den höchsten Stand erreicht hatte, sich schnell klärte und alsdann sehr rein blieb. Veranlassung hierzu geben unbedingt die ausgedehnten Seen und Sümpfe zur Seite der Stromarme, die grofse Massen des unreinen Wassers aufnehmen, und dasselbe später geklärt wieder abfliefsen lassen.

Die Europäische Commission fafste gleichzeitig noch einen andern höchst wichtigen Beschlufs, der für das ganze Unternehmen entscheidend war. Um nämlich die Schiffahrt möglichst bald etwas zu erleichtern, sollten an der Sulina-Mündung provisorische Anlagen unternommen werden, die nach Ausführung des definitiven Projects wieder aufgegeben werden könnten, und hierzu wurden 2 Millionen Francs bewilligt. Die Commission sprach dabei die Erwartung aus, dafs schon hierdurch die Fahrtiefe um 2 Fufs sich vergröfsern würde.

Nachdem dieser Beschlufs gefafst war, begann Hartley sogleich den Bau des nördlichen Damms und ging bis zum Jahr 1862 mit der Ausführung seines Projects, als provisorische Anlage vor, das heifst in leichter Constructionsweise, die jedoch nach den Mittheilungen keine weiteren Beschädigungen erfuhr, als dafs die Steinschüttungen sich senkten. Das ganze Project war damals nahe vollendet und es waren viel gröfsere Erfolge erreicht, als man erwartet hatte. Indem der Bagger mit benutzt wurde, um die Barren an ihren niedrigsten Stellen zu durchbrechen, so stellte

sich schon im Jahr 1860 die durchgehende geringste Tiefe von 12 Fufs ein, und 1862 mafs sie mindestens 14 Fufs, obwol sie sehr veränderlich und oft um 2 bis 3 Fufs gröfser war.

Am 2. November 1862 genehmigte endlich die Europäische Commission das ganze Project von Hartley und ordnete an, die provisorischen Bauten sollten in definitive verwandelt, also in solider Construction verstärkt, auch die südliche Mole verlängert werden. Der Kopf der Nordermole war inzwischen 3 bis 5 Fufs unter Wasser herabgesunken. Derselbe, wie alle Dämme, die nicht etwa durch Verlandungen dem Angriff der See ganz entzogen waren, wurden nunmehr solide übermauert. Die gewählten Constructionsarten werden später an passender Stelle beschrieben werden, hier sei nur erwähnt, dafs es übermauerte Steinschüttungen sind, die seeseitig durch grofse Bétonblöcke gesichert wurden. Auf dem Kopf der Nordermole steht ein kleiner Leuchtthurm.

Die Südermole wurde noch um 457 Fufs verlängert, so dafs ihre ganze Länge 3457 Fufs, und die der Nordermole 4638 Fufs (Englisch) mifst. Die Kosten dafür betragen mit Einschlufs der voraussichtlichen Ausgaben für Nachbesserungen der Verlängerung der südlichen Mole $9\frac{1}{2}$ Millionen Francs.

Die nach Beendigung dieser Bauten eingetretenen Erfolge entsprachen vollständig den Erwartungen. Die Zeichnung Fig. 117 A weist nach, dafs die Mündung sogar die Tiefe von 24 Fufs überschritten hat, wenn aber diese auch ununterbrochen bis zur offnen See sich fortsetzt, so ist das betreffende Fahrwasser doch zu enge und zu gekrümmt, als dafs es bequem benutzt werden könnte. Solche Tiefe ist auch entbehrlich, da sie weiter stromaufwärts nicht anhält. Das Fahrwasser von 18 Fufs ist dagegen leicht inne zu halten und genügt dem Bedürfnifs.

Veränderungen und Verflachungen treten freilich vielfach noch ein und vermindern die Tiefe oft in sehr kurzer Zeit um mehrere Fufs, wie dieses auch vor andern Häfen nicht selten geschieht. Unbedingt haben aber diese Bauten den Schiffsverkehr nach der Donau wesentlich erleichtert und es steht auch zu erwarten, dafs die erwähnten günstigen Erfolge von langer Dauer bleiben und durch fernere Ausführungen sich stets werden sichern lassen.

Schliefslich wäre noch zu erwähnen, dafs auch vielfache

Strombauten zur Verbesserung der obern Strecken bis Tchatal d'Ismail vorgenommen sind. Diese bestehn theils in Regulirung und Befestigung der Ufer, theils in ausgedehnten Buhnensystemen, wobei die Werke normal gegen das Ufer gerichtet sind, theils in Richtwerken bei Stromspaltungen und endlich in Durchstichen und ausgedehnten Baggerungen, wodurch man der Strömung neue Rinnen zu eröffnen bemüht war.

Demnächst sind die an der Mündung der Rhone ausgeführten Arbeiten zu erwähnen. Die Rhone ergiefst sich gegenwärtig nur in einem einzigen und ziemlich geschlofsnen Gerinne in das Mittelländische Meer. Früher zweigte sich in der Gegend von Arles noch ein Arm rechtseitig ab, derselbe hat sich indessen seit längerer Zeit beinahe vollständig geschlossen. Er heifst die todte Rhone und mündete etwa 6 Meilen westlich vom Hauptarm. Der letzte verlor weiter abwärts noch einen grofsen Theil des Wassers, indem eine Anzahl flacher Rinnen dasselbe gleichfalls in westlicher Richtung der See zuführten. Unter diesen Umständen konnte in der Hauptmündung keine bedeutende Tiefe sich bilden und erhalten. Als ich im September 1857 von dem Hafen le Bouc aus in einem Fischerboot bei stärkerem Winde nach der Mündung der Rhone fuhr, wagten die Fischer wegen der Brandung nicht einzusegeln. Die Rhone war also für Seeschiffe vollständig unzugänglich.

Um eine Verbindung mit dem Meer darzustellen wurde der Canal von Arles 1802 begonnen, und nach manchen Unterbrechungen 1834 vollendet. Er ist etwas über 6 Meilen lang, der Wasserstand mifst 6 Fufs 4 Zoll und die vier darin befindlichen Schleusen sind 25 Fufs weit. Sein Gefälle ist bei niedrigem Wasserstande der Rhone nur 5 Fufs, doch steigt es zuweilen bis 15 Fufs und die höchsten Anschwellungen des Stroms werden durch besondere Fluththore von ihm abgehalten. Dieser Canal steht bei Arles mit der Rhone, und in dem kleinen Hafen le Bouc, der den Eingang zum Etang de Berre bildet, mit dem Mittelländischen Meer in Verbindung. Er ist aber für gröfsere Schiffe nicht zugänglich, da seine Mündung, die freilich durch einen soliden Hafendamm geschützt ist, kaum 10 Fufs Tiefe hat. Jedes der grofsen hier benutzten Canalschiffe nahm die Ladung von drei Seeschiffen auf.

Die Verbindung war demnach höchst mangelhaft und man versuchte, die Strommündung zu verbessern. 1857 sah ich, wie man anfing, das linkseitige Ufer zwischen dem Thurm St. Louis und der ohnfern der Mündung liegenden Lootsen-Station in der Richtung auszubauen, die Fig. 117 C auf Taf. XXa in den scharf ausgezogenen Linien angegeben ist. Auch wurde mir mitgetheilt, man wolle weiter abwärts das Ufer zurücktreten lassen, um die hier entstehnde Erweiterung als Hafen benutzen zu können. Die Ausführung wurde jedoch schon damals sehr lässig betrieben, ich hörte auch manchen Zweifel aussprechen, ob das ganze Unternehmen von Erfolg sein werde, und ob es nicht gerathener sei, einen für Seeschiffe fahrbaren Canal aus dem Golfe de Foz nach Tour St. Louis zu führen.

Dabei mufs aber noch erwähnt werden, dafs die Schiffahrt auf der Rhone durch übermäfsige Abgaben sehr erschwert wurde. In einer lithographirten Eingabe der Schiffer wurde nachgewiesen, dafs viele Artikel, die sie sonst verfahren hatten, gegenwärtig auf der Eisenbahn für Frachtsätze befördert würden, die sogar geringer wären, als die Abgaben, welche die Schiffer beim Transport derselben Waaren an die Regierung entrichten müfsten.

Ueber den weitern Verlauf dieser Angelegenheit findet man wenig in den Französischen technischen Schriften, dagegen ist dem Kriegs-Ministerium der Vereinigten Staaten hierüber ausführlich Auskunft ertheilt, als in neuster Zeit die Eröffnung einer für gröfsere Seeschiffe fahrbaren Verbindung des Mississippi mit dem Mexicanischen Meerbusen beschlossen war und von dort aus Nachrichten über ähnliche Ausführungen gesammelt wurden.

Der Französische Ober-Ingenieur E. Malézieux, der durch die interessanten Mittheilungen über öffentliche Bauten in den Vereinigten Staaten Amerika's bekannt ist, gab die nachstehnde Beschreibung der an der Mündung der Rhone ausgeführten Arbeiten und der Erfolge derselben *). Der Bericht besagt:

Am 15. Jan. 1852 wurde das Project zur Regulirung und Einschränkung der Rhone-Mündung von der Regierung

*) Annual report of the Chief of Engineers to the secretary of war for the year 1875. Part I, pag. 965 und nochmals abgedruckt Part II, pag. 888.

genehmigt und die Ausführung desselben angeordnet. Diese erfolgte demnächst und wurde am Schlufs des Jahrs 1862 beendigt. Die dafür verausgabten Kosten beliefen sich sehr nahe auf $1\frac{1}{2}$ Millionen Francs.

Die Arbeiten bestanden in einer vollständigen Ausdeckung beider Ufer vom Thurm St. Louis abwärts bis in die See, wobei zugleich sieben bisher vorhandene kleine Seitenarme geschlossen wurden, welche den gröfsten Theil der Wassermasse abgeführt hatten. Die linkseitige Uferdeckung mit Einschlufs des in ihrer Fortsetzung erbauten Damms ist 7, die rechtseitige $6\frac{1}{2}$ Kilometer lang. Beide sind aber nicht bis zur eigentlichen Barre hinausgeführt, sondern bleiben noch $1\frac{1}{2}$ Kilometer davon entfernt. Die Uferdeckungen bestehn aus Erddämmen, die über das höchste Wasser reichen, und deren Fufs durch Steinschüttungen geschützt ist. Hierdurch wurde die ganze Rhone in einem einzigen Gerinne zusammengehalten und in süd-östlicher Richtung in das Meer geführt. Die Mündung ist 400 Meter weit.

Im September 1856 waren bereits die sämmtlichen Nebenarme geschlossen. Dabei hatte die Tiefe auf der Barre, die 1852 nur 1,5 Meter gewesen war, bis auf 4,15 Meter zugenommen. Seit dieser Zeit aber bildete sich weiter seewärts eine neue Barre aus, und die Tiefe auf derselben mafs damals (1863) nur noch 1,4 Meter. Vom Juni 1852 bis Februar 1863 war die Barre 800 Meter in der Richtung der beiden Molen seewärts vorgerückt. In dieser Zeit ist sie also jährlich über 74 Meter fortgeschritten, während sie von 1807 bis 1846 jährlich nur um 23 Meter hinaustrat.

Die Tiefen auf der Barre ändern sich jedesmal bei Anschwellungen der Rhone. Bei mäfsigen Anschwellungen erhöht sich die Barre, bei sehr hohen von etwa 4 Meter (nach dem Pegel bei Arles) erniedrigt sie sich dagegen gemeinhin, doch tritt zuweilen auch das Gegentheil ein.

Nachdem es sich nun ergeben, dafs diese Ausführungen zur Vertiefung der Mündung ohne Erfolg geblieben waren, so entschlofs man sich von weitern ähnlichen Versuchen mit Hafendämmen abzustehn, und dagegen in andrer Weise den dringend gebotenen Zugang der Seeschiffe zur Rhone zu eröffnen.

Soweit die Mittheilungen von Malézieux. Im ersten Theil

des bereits erwähnten Amerikanischen Jahresberichts sind demselben noch verschiedne Pläne und Profilzeichnungen der Rhone beigefügt, die zum Theil in späterer Zeit aufgenommen sind, und daher auch bereits den neuen Schiffahrts-Canal enthalten. Nach diesen Plänen ist die Situationszeichnung Fig. 117 C zusammen gestellt, welche die Ufer und Tiefenlinien von 1846 und 1873 enthält. Die Linien welche die Tiefe von 2 Meter angeben, sind durch einen Punkt zwischen zwei Strichen für 1873, und zwischen zwei Kreuzen für 1846 bezeichnet. Die Tiefen von 10 Meter sind dagegen in ähnlicher Weise durch Striche und Kreuze angedeutet, während zur Unterscheidung der ältern und neuen Ufer dieselbe Bezeichnung, wie für die Donau-Mündung gewählt ist. Es ergiebt sich hieraus, dafs im Jahr 1873 die Tiefe auf der Barre wieder um nahe 1 Meter zugenommen hatte, doch ist kaum zu erwarten, dafs diese allerdings ganz ungenügende Tiefe sich bisher erhalten hat und dauernd erhalten wird.

Fragt man nach dem Grunde, weshalb die Correction und Einschränkung der Strommündung in diesem Fall gar keinen, oder doch nur einen sehr unbedeutenden Erfolg gehabt hat, so geben schon die localen Verhältnisse hierüber genügenden Aufschlufs. Die östlich von der Rhone-Mündung gelegene Küste besteht bis zur Grenze mit Italien nur aus Felsufern. Vor Marseille, Ciotot und Toulon sah ich nur in einzelnen Buchten eine Art von Strand, der jedoch meist aus grobem Gerölle und Kies bestand, und worin sich nur selten Sandablagerungen zeigten. In kurzen Entfernungen traten aber immer die schroffen Felsen vor, welche diese Bildung unterbrachen. In solcher Art setzt sich das Ufer bis an den Golf von Foz, also bis $2^1/_2$ Meilen von der Mündung der Rhone fort. Noch in dem Hafen le Bouc, der an der genannten Bucht liegt, treten die Felsen zu Tage. Der übrige Theil dieser Bucht wird von den flachen Ufern begrenzt, welche die Niederschläge der Rhone gebildet haben, doch ist die Ausdehnung dieser Ufer zu geringe, auch treten sie zu weit zurück, als dafs von hier merkliche Sandmassen forttreiben sollten.

Ganz anders gestaltet sich dagegen das Ufer an der westlichen Seite der Rhone-Mündung. Hier liegt zunächst das aus den Alluvionen entstandne Delta, die Camargue genannt,

dessen Basis etwa 10 Deutsche Meilen lang ist, und das seinen Scheitelpunkt bei Arles hat, so dafs die Höhe ungefähr 7 Meilen mifst. Es ist dieses eine vielfach durch Sümpfe unterbrochene sandige Niederung, worauf spärlich Tamarinden und einige andre Sträucher wachsen, die mit Ausnahme einer von einer Actiengesellschaft unternommenen Eindeichung vollständig uncultivirt, und nur in wenigen kleinen Niederlassungen an der Rhone bewohnt ist. Sie dient vorzugsweise zur Weide für halbwildes Hornvieh, das namentlich für die Stiergefechte in Arles und Montpellier die Stiere liefert.

Schon in der Camargue selbst und noch mehr weiter westwärts findet sich ein vollständig ausgebildeter Strand, der vielfach vor kleinen Binnenseen in Nehrungen sich fortsetzt und erst vor Port Vendre, am Fufs der Pyrenäen aufhört.

Die Küstenströmung des Mittelländischen Meers ist vor den Französischen Ufern von Osten nach Westen, vor Algier dagegen von Westen nach Osten gerichtet*). Diese Strömung entspricht vollständig derjenigen in der Ostsee, und erklärt sich durch die verschiedne Erwärmung des Wassers im südlichen und im nördlichen Theil (§ 11). Dafs die Strömung diese Richtung wirklich hat, konnte ich bei ziemlich ruhiger Witterung vor der Mündung der Rhone deutlich bemerken, indem die herabkommenden schwimmenden Gegenstände, sobald sie die letzten vortretenden Flächen passirt hatten, sogleich und zwar sehr schnell westwärts trieben. Die Ingenieure in Cette sprachen auch die Ansicht aus, dafs die Sandmassen, welche den dortigen Hafen, wie auch den Vorhafen dauernd verflachen, von der Rhone herrühren. Die Messungen, welche der an der Rhone-Mündung angestellte Conducteur ausgeführt hat, ergaben freilich, dafs, wenn die westliche Strömung in der Oberfläche auch sehr stark ist, man dieselbe in gröfserer Tiefe kaum noch bemerken kann, woher oft angenommen wird, dafs nur das süfse Flufswasser diese Richtung verfolgt. Es ist jedoch undenkbar, dafs in weiten Abständen, wie vor Cette, die Vermengung mit dem Seewasser noch nicht eingetreten sein sollte, und wenn dieses auch wäre, so würde die Bewegung

*) Minard, Cours de construction des ports de Mer. Paris 1846, pag. 29.

des Sandes durch die Strömung der obern Wasserschichten schon zu erklären sein.

Die Barre vor der Rhone-Mündung rührt hiernach nicht von den westwärts belegnen Ufern her, sondern ist der Niederschlag aus dem Wasser des Stroms, der bei der ziemlich geschützten Lage der Mündung vor derselben sich ablagert. In welchem Maafse die Alluvionen sich hier bilden und seewärts weiter vortreten, ergiebt sich daraus, dafs der Thurm St. Louis im Jahr 1737 unmittelbar am Strande erbaut wurde, während er jetzt über eine Deutsche Meile davon entfernt ist.

Unter diesen Verhältnissen war es gewifs keine leichte Aufgabe, ein tiefes Fahrwasser nach dem Meer darzustellen, man beging dabei aber noch den Mifsgriff, dafs man keineswegs den Strom in einem regelmäfsig gestalteten Bette zu concentriren versuchte. Dasselbe wurde vielmehr unterhalb des Thurms St. Louis zunächst sehr stark erweitert, alsdann wieder verengt und nahe vor der Mündung führte man noch eine neue Verbreitung ein, während die Bildung eines sanft gekrümmten Laufs ganz unbeachtet blieb, wodurch die kräftigste Strömung dauernd auf eine bestimmte Stelle gewiesen wäre.

Endlich kann es auch nur befremden, dafs die Mündung südöstlich, also sehr stark von der Küstenströmung abweichend gerichtet ist. Vortheilhafter wäre es gewifs gewesen, die Mündung wenigstens normal gegen die allgemeine Richtung des Ufers zu legen, wenn man auch keinen der andern Arme, die sich mehr westlich wenden, zum alleinigen und zum Hauptarm ausbilden konnte.

Als man sich nunmehr überzeugte, dafs die bisherigen Anlagen ihren Zweck vollständig verfehlt hatten, ging man im Jahr 1865 wieder auf das schon 1857 aufgestellte Project zurück. Die Situationszeichnung Fig. 117. C, welche die neue Verbindung der Rhone mit dem Mittelländischen Meer, also den Canal St. Louis darstellt, ist aus den erwähnten Amerikanischen Berichten entnommen. Die darin enthaltenen Einzelheiten stimmen keineswegs mit andern Mittheilungen überein, woher die nachstehend angegebenen Maafse auch nur annähernd als richtig angesehn werden dürfen.

16 Ruthen unterhalb des Thurmes St. Louis zweigt sich

der Canal von der Rhone ab und tritt an die 490 Fufs lange und 70 Fufs weite Schleuse hinan. Das alsdann folgende Bassin ist 47½ Morgen grofs und soll an den Kais auf mehr als 3000 Fufs Länge zum Anlegen der Schiffe nutzbar sein. Dahinter beginnt die 903 Ruthen lange Canalstrecke, die sich bis in den Golfe de Foz fortsetzt, und am Ende auf beiden Seiten durch massive Dämme eingefafst ist. Ihre Breite mifst in der Höhe Höhe des Wasserspiegels 200 Fufs und ihre Tiefe 19 Fufs. Die Tiefe im Golf ist so bedeutend, dafs die gröfsten Schiffe daselbst einlaufen können. Verflachungen sollen darin auch nicht zu besorgen sein.

Die Seeschiffe können sonach jedenfalls bis in das Bassin neben der Schleuse gelangen, da aber nach andern Mittheilungen die Schlagschwellen der letztern 24 Fufs unter Mittelwasser liegen, so scheint es, dafs man den Seeschiffen bis Arles, vielleicht sogar bis Tarascon, also bis an den Canal von Beaucaire den Weg eröffnen will. Von Arles abwärts bis zum Canal soll die Rhone auch bereits durch Correctionen überall mindestens bis auf 16 Fufs vertieft sein, während sie 1857, sich selbst überlassen, einen wilden und stellenweise sehr flachen Stromlauf bildete. Durch niedrige Steindämme, die bei höheren Wasserständen überfluthet werden, und vielfach an die Ufer angeschlossen sind, hat man auf 100 bis 120 Ruthen den Strom eingeschränkt, und die Verlandungen hinter den Dämmen werden, sobald sie vortreten, mit Weiden bepflanzt.

Sehr wichtig sind ferner die Anlagen, die man in neuster Zeit zur Vertiefung der Mündung des Mississippi ausgeführt hat. Dieser Strom, einer der gröfsten, die es überhaupt giebt, sammelt die ersten Quellen schon unter dem 50. Breitengrade, und nachdem er von beiden Seiten andre Bäche, Flüsse und selbst grofse Ströme aufgenommen hat, mündet er unter dem 29. Breitengrade in den Mexicanischen Meerbusen. Die letzten 8 Grade, von der Verbindung mit dem Ohio abwärts, durchströmt er ein flaches Thal, das durchschnittlich 10 Deutsche Meilen breit ist. Dieses hat er selbst gebildet, indem er es aber in zahllosen Krümmungen durchläuft, greift er die Ufer immer von Neuem an, und führt daher, besonders zur Zeit seiner Anschwellung, Sand und Thon und vegetabilische Erde in grofsen

Massen mit sich*). Er wirft diese Stoffe zum Theil schon zur Seite der stärksten Strömung nieder, woher in seinem Thal oft in grofser Ausdehnung erhöhte Rücken oder natürliche Dämme sich gebildet haben, von denen bereits im II. Theil dieses Handbuchs § 8 die Rede war, zum Theil bleibt diese Masse aber im Wasser schweben und sinkt erst nieder, wenn die Strömung aufhört, also in und vor der Mündung in das Meer. Hier bilden sich Verflachungen zum Theil mit überraschender Schnelligkeit aus, und da heftiger Wellenschlag hier nur selten eintritt, so bleibt nicht nur der Sand liegen, sondern auch die feinen erdigen Stoffe. Wenn die Strömung darüber zwar eine etwas tiefere Rinne offen erhält, so erheben sich die Ufer daneben doch höher und es tritt die auffallende Erscheinung ein, dafs die Mündungen, wie Fig. 117. B auf Taf. XX. a zeigt, meilenweit, wie zwischen künstlichen Dämmen eingeschlossen, sich in die See erstrecken. Diese Ufer bleiben indessen nur wenig über dem Wasser und werden bei Anschwellungen und starkem Wellenschlag überfluthet. Als Beweis dafür, wie schnell Verflachungen hier eintreten, mag erwähnt werden, dafs wenn Schiffe, wie nicht selten geschah, festfuhren, der Grund daneben sich sogleich erhob und zuweilen bis auf wenige Zolle unter dem Wasserspiegel anwuchs. Dazu kommt noch die wunderbare Erscheinung, die gleichfalls früher (Theil II. § 8) schon berührt ist, dafs hier zuweilen die Niederschläge wegen ihres geringen specifischen Gewichts in ausgedehnten Massen (Mud-Lumps genannt) emporstiegen.

Ein sehr grofser Uebelstand ist es aufserdem, dafs der Strom etwa 15 Deutsche Meilen unterhalb New-Orleans, und nachdem er schon mehrere Meilen weit, wie auf einer Landzunge in den Busen vorgedrungen war, sich plötzlich in drei Hauptarme

---

*) Diese Darstellung stimmt nicht mit derjenigen von Humphreys und Abbot überein, wonach das Bett des Mississippi in einer Lage sehr festen Thons eingeschnitten sein soll, der von der Strömung gar nicht angegriffen wird. Gegen diese Auffassung, welche zu vielen Deichanlagen Veranlassung gab, die nach kurzer Zeit beim Abbrechen der Ufer im Strom versanken, erklärte sich schon früher wiederholentlich Albert Stein in Mobile, in neuster Zeit hat aber James B. Eads in Nostrand's engineering Magazine die vielfachen Irrthümmer nachgewiesen, worauf diese Ansicht beruht.

spaltet, die weiterhin sich noch in viele kleinere Arme, die hier Bayou's heifsen, zertheilen und sonach nur schwächere Strömungen bleiben, die um so weniger im Stande sind, die Mündungen frei zu halten.

Die drei Hauptrinnen, sind, wie der Plan zeigt, 1) der South-West-Pafs, der rechts abgeht, 2) auf der linken Seite der Nord-Pafs oder Pafs à l'Outre und 3) ziemlich in gerader Richtung der South-Pafs. Die Wassermasse vertheilt sich in der Art, dafs vor dem Beginn der in Rede stehnden Arbeiten, im März 1875, der erstere 42, der zweite 43 und der letzte Arm nur 15 Procent davon aufnahm, dieser ist sonach der schwächste, und ein Theil seines Zuflusses wird noch durch den Grand Bayou abgeführt. Auf der Barre vor seiner Mündung mafs die Wassertiefe nur etwa 10 Fufs, nach andern Angaben sogar zuweilen nur 7 $^1/_2$ Fufs. Dieser Arm konnte sonach nur von sehr kleinen Schiffen benutzt werden, doch war auch seine Mündung durch ein kleines Feuer bezeichnet.

Bedeutender waren die Tiefen vor den beiden andern Armen, und Feuer dritter Ordnung bezeichnen die schiffbaren Einfahrten in dieselben, sowie auch Lootsen-Stationen daneben errichtet sind. Der Nord-Pafs spaltet sich wieder in zwei Rinnen, diejenige, welche seine Richtung verfolgt und die eigentliche Schiffahrtsstrafse bildete, ist der Pafs à l'Outre, die andre, Nord-East-Pafs, zertheilt sich nochmals in drei schwache Arme.

Die Tiefen in den Mündungen des South-West-Pafs und des Pafs à l'Outre mafsen im natürlichen Zustande etwa 12 Fufs und die Barren davor erstreckten sich bis an die letzte punktirte oder die Dreifaden-Linie. Um gröfsern Schiffen die Einfahrt zu ermöglichen, wurden seit langer Zeit zwei Dampfbagger beschäftigt, die aber das gelöste Material nicht in Prahme, sondern unmittelbar wieder in den Strom warfen, damit dieser einen Theil davon forttreiben sollte. Trotz solcher höchst mangelhafter Einrichtung sollen dennoch Rinnen von 18 bis 19 Fufs Tiefe dadurch dargestellt sein, die jedoch keinen Bestand hatten, sondern in sehr kurzer Zeit sich stets wieder anfüllten, sobald die Bagger den in der Zwischenzeit verflachten andern Pafs aufräumten.

Die aufserordentliche Production, namentlich von Getreide, Reis, Baumwolle und Zucker in dem ausgedehnten Gebiet des

Mississippi, der weit aufwärts noch hinreichende Tiefe für grofse Seeschiffe hat, liefs das Bedürfnifs zur Verbesserung seiner Mündung immer dringender hervortreten. Das erste Project dazu wurde, wie es scheint, vom Capitän Howell aufgestellt*).

Darnach sollte $3\frac{1}{4}$ Deutsche Meilen oberhalb des Punkts, wo der Strom sich in drei Arme spaltet, ein für die gröfsten Schiffe fahrbarer Canal in nordöstlicher Richtung nach dem Mexicanischen Meerbusen geführt und an seinem obern Ende durch eine Schiffsschleuse geschlossen werden. Die Länge desselben bis zum gegenwärtigen Ufer würde etwa $1\frac{1}{4}$ Meilen messen, zur Hälfte würde er ein niedriges Terrain durchschneiden, das sich nur 3 bis 4 Fufs über den Wasserspiegel erhebt, zur Hälfte aber in eine Wasserfläche von 2 bis 3 Fufs Tiefe fallen. In der Sohle sollte er 200 Fufs breit und 27 Fufs tief sein (Englisches Maafs). Neben dem Strom war ein weites Bassin von gleicher Tiefe projectirt, das 1000 Fufs breit und 2500 Fufs lang wäre, und aus diesem sollte die Schleuse in den Mississippi führen. Der Schleusenkammer war die Länge von 500 Fufs und die Weite von 65 Fufs bestimmt, während die Schlagschwellen 27 Fufs unter dem niedrigsten Wasserspiegel liegen sollten. Nach den Nivellements würde die Niveaudifferenz gemeinhin nur 1 bis 2 Fufs betragen, doch kann dieselbe bei starken Anschwellungen im Strom und niedrigem Stande der See bis auf 7 Fufs steigen, auch war es möglich, dafs bei gewissen heftigen Winden der äufsere Wasserstand für kurze Zeit sich etwas höher, als der innere stellte. Aus diesem Grunde sollten beiderseitig noch besondere Fluththore angebracht werden. Zugleich war darauf Bedacht genommen, den nöthigen Raum zu lassen, um eine zweite Schleuse erbauen zu können, falls das Bedürfniss dazu einträte.

Die in der ganzen Linie ausgeführten Bohrungen, die bis 100 Fufs herabreichten, zeigten Lehmboden, der zwar in der Oberfläche sehr locker war, aber in mäfsiger Tiefe eine grofse Festigkeit annahm, und der sonach einen sichern Baugrund darstellte.

*) Dasselbe ist beschrieben und durch einen Situationsplan erläutert in dem Annual Report. 1875. I. pag. 950.

In dem Mexicanischen Meerbusen mufste die Vertiefung noch etwa 500 Ruthen weit fortgesetzt werden, bis man die Tiefe von 30 Fufs erreichte. Die Vergleichung der Aufnahme von 1838 mit der von 1872 ergab aber, dafs die Ufer, so wie auch die Tiefenlinien an dieser Stelle in der Zwischenzeit sich sehr wenig verändert hatten, und es wurde daher angenommen, dafs die Mündung des Canals der Gefahr der Verflachung nicht ausgesetzt sei.

Die Kosten dieser Anlage waren auf $10^1/_5$ Millionen Dollars berechnet. Der Congrefs genehmigte dieses Project nicht, sondern ordnete an, es solle zunächst eine Commission ernannt werden, um zu untersuchen, in welcher Art am vortheilhaftesten eine dauernde Verbindung des Mississippi mit dem Meer für grofse Schiffe dargestellt werden könne.

Zu Mitgliedern dieser Commission wählte das Kriegsministerium zwei Officiere aus dem officiellen Ingenieur-Corps, ferner den Chef der Küstenvermessung und drei Civil-Ingenieure. Dieselben nahmen zunächst eine sorgfältige Local-Untersuchung vor und sammelten zugleich Nachrichten über ähnliche Unternehmungen, die in Europa ausgeführt waren, angeblich vorzugsweise an der Weichsel, der Donau und der Rhone. Da dieses aber nicht genügte, so hielten sie es für erforderlich, die anderweitig erreichten Erfolge durch eigne Wahrnehmung kennen zu lernen.

Am 13. Januar 1875 wurde endlich der betreffende Bericht erstattet, und das Resultat war, dafs fünf Mitglieder sich unbedingt für die Regulirung und Einengung einer Mündung des Mississippi, nämlich des South-Pafs, aussprachen, indem sie nach den an der Donau-Mündung wahrgenommenen Erfolgen überzeugt waren, dafs bei diesem Verfahren Verflachungen sobald nicht zu besorgen wären. Die Kosten der ersten Anlage würden $5^1/_2$ Millionen betragen. Ein Mitglied dieser Commission aber, dem Corps der Staats-Ingenieure angehörend, war entgegengesetzter Ansicht, indem derselbe die dauernde Erhaltung der Tiefe vor dieser Mündung nicht erwartete, und daher die Ausführung jenes Canals empfahl.

Der Beschlufs der Majorität wurde theils wegen der geringeren Kosten und theils wegen der viel schnelleren Fertig-

stellung der Anlage genehmigt. Es fand sich auch ein Bauunternehmer, der auf die Vergütung nur im Fall des Gelingens des Werks Anspruch machte. Dieses war der Capitän James B. Eads.

Am 3. März 1875 wurde vom Congreſs ein Vertrag mit demselben genehmigt, wodurch er ermächtigt wurde, auf seine Kosten und Gefahr den South-Paſs zu verbessern. Die erste Entschädigung sollte ihm werden, sobald er einen Schiffahrtsweg bis zum tiefen Wasser des Meerbusens von 200 Fuſs Breite und 20 Fuſs Tiefe dargestellt haben würde. Wie die sonstigen Bedingungen des Vertrags lauteten, ist nicht bekannt*).

Eads, der Erbauer der Brücke über den Mississippi bei S. Louis, hatte sich auf einer Reise nach Europa mit den hier ausgeführten ähnlichen Arbeiten bekannt gemacht, und durch Verbindung mit Capitalisten war es ihm gelungen, die nöthigen Geldmittel zu beschaffen. Die Absicht ging dahin, zwei Hafendämme zu beiden Seiten des South-Paſs bis zum höchsten Rücken der davor liegenden Barre im gegenseitigen Abstande von 1000 Fuſs zu erbauen, von denen der linkseitige etwa 12000 Fuſs und der rechtseitige etwa 8000 Fuſs lang würde, diese Dämme aber nicht in geraden Linien, sondern in flacher etwas südwärts gerichteten Krümmung und zwar mit dem Krümmungshalbmesser von 16 000 Fuſs auszuführen, um theils das tiefe Wasser früher zu erreichen, theils aber auch, wie in Swinemünde mit sehr günstigem Erfolg geschehn, um den Strom zu concentriren.

Schon die Vorbereitungen zu diesen Bauten und namentlich das Abstecken der Richtungslinien verursachten übermäſsige Schwierigkeiten. In meilenweiten Entfernungen gab es auf den sumpfigen mit Wasser, Schlamm und Rohr bedeckten Flächen keine weitere Ansiedelungen oder auch nur zeitweise benutzte Wohnungen oder sonstige Baulichkeiten, als die Leuchtthürme (die in Fig. 117. B mit den Buchstaben L bezeichnet sind) und die Lootsenstationen. Nur durch trigonometrische Messungen

*) Die folgenden Angaben sind zum Theil entnommen aus dem Bericht des Ingenieur Cortell (scientific American, supplement 20. Mai 1876), vorzugsweise aber aus der Mittheilung von Max E. Schmidt betitelt the South-Pass jetties (Transactions of the American society of civil Engineers, August 1879).

liefsen sich in je 500 Fufs Abstand die Punkte auffinden, welche die Mittellinien der Dämme bezeichneten. Hier wurden Pfähle so fest eingerammt, dafs sie zugleich zum Anbinden der Fahrzeuge benutzt werden konnten, auf welchen das Baumaterial angefahren wurde.

In Betreff der localen Verhältnisse ist noch zu bemerken, dafs der Fluthwechsel hier nur 18 Zoll beträgt, dafs aber bei Sturmfluthen das Wasser zuweilen 4 Fufs höher sich erhebt. Oestliche Winde sind vorherrschend, Stürme treten nur zur Zeit der Aequinoctien ein. Die Geschwindigkeit der Ausströmung mifst bei Anschwellungen des Mississippi bis 5 Fufs in der Secunde, gewöhnlich aber nur etwa 15 Zoll. Bei conträren Winden tritt nicht selten Einströmung ein. Als irgend brauchbares Baumaterial findet sich in der Nähe nur Weidenstrauch vor, dieses aber überreichlich, indem die vielen verlafsnen Flufsarme damit vollständig überzogen sind. Ein solcher Arm, der Jump genannt, der einst von kleineren Schiffen befahren wurde, sich später zu einem 600 Fufs breiten Strom ausbildete, alsdann aber wieder verlandete, war mit Weidengebüsch überzogen, das $1^1/_2$ Quadratmeilen einnahm. Dieses wurde dem Unternehmer zur Verfügung gestellt.

Der letzte Umstand gab Veranlassung, dafs vorzugweise, und namentlich beim Beginn der Arbeiten, der Bau in Senkstücken ausgeführt wurde. Die bei uns übliche Zusammensetzung der Stücke mufste indessen verlassen werden, da sie wegen der dabei nothwendigen Handarbeit sich gar zu theuer herausstellte und wegen Mangel an Arbeitskräften auch zu viel Zeit erfordert haben würde. Die möglichste Beschleunigung war geboten, um bald ein Resultat zu erzielen und die nach Maafsgabe der Vertiefung des Fahrwassers contractlich festgestellte Zahlung in gewissen Raten bald eintreten zu lassen.

Wohl noch nie ist ein ähnlicher Bau mit gleicher Schnelligkeit, wie dieser, ausgeführt. Am 17. Juni 1875 wurde der erste Pfahl eingerammt, einen Monat später das erste Senkstück herabgelassen, und im Sommer 1876 waren beide Dämme in ihrer ganzen Länge so weit dargestellt, dafs sie den Strom einschlossen und die beabsichtigte Wirkung desselben auf das Fahrwasser beginnen konnte. Diese Wirkung trat auch sogleich ein. Nach

dem Bericht von Cortell an das Ministerium hatte das Fahrwasser an den flachsten Stellen bereits um 4 Fufs sich vertieft, während die Dämme noch kein Jahr bestanden, und Vertiefungen zeigten sich überall, so dafs die Fahrtiefe schon 20 Fufs mafs. Derselbe erwähnt jedoch, dafs die Barre sich etwas weiter seewärts verschoben habe.

Es mag gleich erwähnt werden, dafs die Fahrtiefe unmittelbar vor dem Beginn des Baues nur betrug . 9' 2"

dagegen im Sommer 1876 . . .	18'
„ „ „ 1877 . . .	20'
„ „ „ 1878 . . .	22' 4"
„ „ „ 1879 . . .	27' 4"

Ohnerachtet dieser überraschenden Resultate fehlte es dennoch nicht an heftigen Angriffen, welche gegen dieses Unternehmen gerichtet waren. Der General Humphreys, der Vorsitzende des Ingenieur-Corps, hatte sich gegen das Project der Regulirung des South-Pass erklärt, der Kriegsminister aber dasselbe befürwortet und den Vertrag mit Eads im Congrefs durchgesetzt, auch dahin gewirkt, dafs Major Comstock, der Vorsitzende der Controlle-Commission, mit vollständiger Umgehung des Ingenieur-Corps seine Berichte unmittelbar an ihn erstattete. Unter diesen Umständen konnte es nicht fehlen, dafs eine starke Opposition sich bildete, und dafs die gegenseitigen Angriffe überaus heftig und sogar verletzend wurden.

So behauptete schon im Sommer 1876 der Ingenieur J. A. Hayward*), dafs die stattgehabte geringe Vertiefung nicht durch die Hafendämme, sondern allein durch Auflockern des Grundes bewirkt sei, indem der Unternehmer in alter Weise eiserne Rechen über den Grund habe ziehn lassen, dafs aber die Barre gar nicht beseitigt, vielmehr um 350 Fufs weiter in die See geschoben sei. Man müsse also, wie er sagte, sich darauf gefafst machen, in jedem Jahr die Dämme bedeutend zu verlängern. Endlich erwähnt derselbe noch, dafs nach den Messungen von Comstock im Juni 1876 der South-Pass nicht mehr 15 Procent der Wassermenge des Mississippi, sondern nur noch 13 Procent derselben

*) The jetty experiment in den Engineering News. 1876.

abführe, woher durch die ausgeführten Arbeiten sogar die Strömung vermindert wäre.

Diese Bedenken, die ohne Zweifel sehr wichtig waren und grofsentheils die vollste Beachtung verdienten, sind auch später noch mehrfach öffentlich ausgesprochen. Zum Theil wurden sie aber schon durch die Commission widerlegt, zum Theil aber ist, wie sich aus Folgendem ergeben wird, den besorgten Uebelständen kräftig entgegen gewirkt.

Die erwähnte Commission hatte schon in den ersten Jahren angezeigt, dafs ein Fahrwasser von mindestens 20 Fufs Tiefe und von 200 Fufs Breite dargestellt sei, worauf dem Unternehmer die erste Rate von 500 000 Dollars ausgezahlt wurde. Später beantragte der Kriegsminister, unter dem 16. Januar 1878, beim Congrefs die Auszahlung der zweiten gleichen Rate, da nach der am 15. December 1877 ausgeführten Untersuchung eine Rinne von 22 Fufs Tiefe sich ausgebildet hätte, die an der engsten Stelle über 200 Fufs breit sei. Aus den Anlagen dieses Schreibens ergiebt sich, dafs die Breite des Schlauchs von mindestens 22 Fufs Tiefe an der engsten Stelle wirklich 264 Fufs gemessen habe, und dafs in dieser noch ein engeres Fahrwasser liegt, das Schiffe mit 23 Fufs Tiefgang befahren können. Dabei wurde die Frage aufgeworfen, ob die Zahlung in so fern gerechtfertigt sei, als der Vertrag die Bildung der tiefen Rinne durch Hafendämme und andre feste Bauwerke fordert, während hier auch Bagger und Vorrichtungen zum Auflockern des Grundes benutzt worden. Die Commission erklärte aber, dafs dieser Umstand ohne Bedeutung sei, da solche Hülfsmittel schon in dem Project, das dem Vertrage zum Grunde liegt, in Aussicht genommen wären. Auch hätten diese Arbeiten den Erfolg nur beschleunigt, der ohne sie gleichfalls, obwohl später, eingetreten wäre. Dazu käme noch, dafs der Bagger nur 20 000 Cubik-Yard beseitigt hätte, während, abgesehn von den sonstigen Vertiefungen eine Million Cubik-Yard seit anderthalb Jahren aus dem Fahrwasser verschwunden wären. Endlich wurde noch die Frage erörtert, ob die Dämme die im Vertrage verlangte Dauerhaftigkeit sicher in Aussicht stellten. In dieser Beziehung gab die Commission zu, dafs namentlich die Köpfe noch der Verstärkung wesentlich bedürften, dafs aber der Unternehmer dafür sorge und dieses auch

in seinem Interesse liege, da er den Bau noch nicht übergebe. Ein grofser Theil beider Dämme sei aber seeseitig schon so verlandet, dafs sie hierdurch wesentlich gesichert wären. Endlich wurde noch erwähnt, dafs einer von den zuerst eingerammten Pfählen beim Anlegen eines Bootes abgebrochen sei, und man habe sich überzeugt, dafs der Bohrwurm denselben zerstört habe.

Nach der neuesten, bereits erwähnten Mittheilung über diesen Bau von Schmidt ist die Verstärkung und Sicherstellung der Dämme bis zum Sommer 1879 eifrig fortgesetzt, wenn auch noch nicht beendigt. In diesem Aufsatz befinden sich mehrfache Notizen über die Art der Ausführung, so dafs in Verbindung mit andern Angaben die gewählte Constructionsart sich ziemlich vollständig daraus ersehn läfst.

Der östliche Damm, der sich unmittelbar an das Ufer anschliefst, ist 11800 Fufs lang*), der westliche dagegen, neben dem das Ufer noch 4000 Fufs weiter vortritt, hat nur die Länge von 7800 Fufs, doch ist er durch einen 600 Fufs langen Flügel mit dem dahinter liegenden Ufer verbunden. Beide Dämme, deren Köpfe einander gegenüber liegen, beschränken das Strombette auf 1000 Fufs Breite. Diese Weite erschien aber zu grofs im Verhältnifs zu der Anfangs hindurchströmenden Wassermenge, woher man sie durch buhnenartige Einbaue, die von beiden Dämmen rechtwinklig in der Länge von 150 Fufs vortreten, noch um 300 Fufs verminderte. Diese Querdämme sind in Abständen von 300 bis 900 Fufs von einander ausgeführt, und ihr Abstand ist im Allgemeinen um so geringer, je näher sie an den Köpfen liegen. Es mag dabei bemerkt werden, dafs sie sehr auffallend zur Vertiefung des Fahrwassers beitrugen, dafs sie aber nur leicht erbaut sind, und es Absicht ist, sie zu beseitigen, sobald dieser Stromarm sich verstärkt.

Die hier gewählte Zusammensetzung der Senkstücke unterscheidet sich von der früher bei uns üblichen dadurch, dafs die Faschinen-Lagen nicht durch Würste (II. Theil, § 34) verbunden sind, deren Anfertigung zu zeitraubend gewesen wäre, sondern durch hölzerne Latten. Die nähere Beschreibung wird

---

*) Das Englische Fufsmafs, das nur um den 32. Theil kleiner ist, als das Rheinländische, ist hier überall beibehalten.

später, wenn vom Bau mit Senkstücken die Rede ist, gegeben werden. Die Stücke 2 bis 4 Fuſs stark und von verschiednen Längen wurden in den vordern Theilen der Dämme, wo eine baldige Verlandung zu erwarten war, seeseitig gegen einzelne Pfähle gelehnt, so daſs sie hier gar keine Dossirung erhielten, stromseitig traten aber die obern Lagen gegen die untern zurück, um eine zweifüſsige Dossirung zu bilden. Die Krone in der Höhe des Wasserspiegels war 20 Fuſs breit und wurde zunächst, sowie auch die stromseitige Dossirung, durch eine Steinschüttung überdeckt, worunter aber ein groſser Theil kleiner zerschlagner Steine sich befand, der eine möglichst dichte Ablagerung veranlassen sollte. Diese Schüttung wurde über Wasser durch ein tief eingreifendes Pflaster überdeckt, das in der Mitte $1\frac{1}{2}$ Fuſs über gewöhnliche Fluthen lag.

Die erwartete Verlandung trat allerdings sehr bald ein und erhob sich sogar bis zum Wasserspiegel und selbst darüber, dagegen zeigten sich sehr starke Versackungen, indem nicht nur die Senkstücke comprimirt wurden, sondern die ganzen Dämme in dem losen Untergrunde versanken. Nach wiederholten Erhöhungen der Dämme werden dieselben nunmehr an der Ostseite auf 8000 Fuſs Länge und an der Westseite noch etwas weiter als vollständig gesichert angesehn.

Die Beischaffung des zu diesen Bauten erforderlichen Strauchs war nicht schwierig, da die nächsten Umgebungen dasselbe im Ueberfluſs lieferten. Brauchbarer Sand fand sich vor der Mündung des Pearl River, von wo er in kleinen Seeschiffen angefahren wurde. Kies und zwar in der Stärke von $\frac{1}{30}$ bis 2 Zoll muſste aus der Nähe von Baton rouge, 250 Meilen weit, auf dem Mississippi angefahren werden. Steinmaterial war in den niedrigen, aufgeschwemmten Umgebungen nirgend zu finden. In New-Orleans, wo der Handel sich beinahe ganz auf die Ausfuhr von Producten beschränkt, also die Schiffe meist in Ballast ankommen, fanden sich freilich bedeutende Steinmassen, die in dieser Art hingebracht waren, bei dem übermäſsigen Bedürfniſs wurden sie aber bald verbraucht, und man muſste an die Eröffnung von Steinbrüchen im Binnenlande denken. 550 Engl. Meilen aufwärts, bei Vicksburg am Mississippi bricht ein weicher Sandstein, der zunächst verwendet wurde, doch zeigte sich bald, daſs er zu wenig

Festigkeit besafs, um dem Wellenschlag zu widerstehn. Man sah sich daher gezwungen, den festen Kalkstein von Roseclair am Ohio zu beziehn, der aus der Entfernung von 1300 Engl. Meilen herbeigefahren werden mufste.

In den vordern Theilen beider Dämme konnte die beschriebne Construction nicht beibehalten werden, weil theils die Angriffe zu stark waren, theils aber baldige Verlandungen nicht in Aussicht standen. Die Kerne der Dämme bestanden freilich auch hier noch aus vielfachen Senkstücklagen über einander, wo dieselben aber seitwärts vortraten und die Dossirungen bilden sollten, wurden sie bei heftigem Wellenschlag zerrissen, auch wohl fortgetrieben und sie sanken alsdann irgendwo nieder, so dafs ihre Beseitigung oft nöthig, aber höchst mühsam war. Man wählte daher zur Darstellung der beiderseitigen Dossirungen flach abfallende Steinkisten, ähnlich den in früherer Zeit an der Ostsee üblichen, deren Construction später beschrieben werden wird. Hier mag nur bemerkt werden, dafs sie mit den im südlichen Deutschland zu Stromregulirungen mehrfach benutzten Senkkasten (Theil II, § 31) in ihrer Construction nahe übereinstimmen. Statt der dabei sonst verwendeten Balken aus Nadelholz wurden hier aber Palmenstämme ohne weitere Bearbeitung benutzt, die ohnerachtet ihrer geringern Festigkeit dennoch im Wasser sehr lange Dauer haben. Die Zwischenräume zwischen diesen Steinkisten und den Senkstücken füllte man durch Steinschüttungen, wie solche auch das ganze Werk überdeckten.

Nachdem die Dämme in diesem Zustande längere Zeit hindurch gelegen hatten, und nach mehrfachen Erhöhungen endlich keine merklichen Versackungen dabei eintraten, so glich man etwa 1 Fufs unter gewöhnlicher Fluthhöhe die Steinlage aus, und überdeckte die Mittellinie der Dämme durch je eine Reihe grofser Bétonblöcke, die sich unmittelbar berührten. Auf der Ostmole geschah dieses in einer Länge von 3800, auf der Westmole von 2800 Fufs. Die Blöcke sind Anfangs 6 Fufs lang und $2^1/_2$ Fufs stark, vergröfsern sich aber und nehmen vor den Köpfen die Länge von 20 Fufs und die Stärke von 4 Fufs an. Ihre Breite, oder diejenige Dimension, die in die Richtung der Mole trifft, mifst überall 13 Fufs. Diese Blöcke werden auf zwei Baustellen auf den vorhergehnden Theilen beider Molen aus Steinschlag,

Kies, Sand und Portland-Cement fabricirt. In der halben Höhe der Blöcke beginnt zu beiden Seiten ein starkes Pflaster, das sich bis zum Wasserspiegel fortsetzt. Hiernach steigt die Krone der Dämme gegen das Ende derselben etwas an, und erhält dabei auch eine gröfsere Breite.

Endlich sollen über diesen Bétonblöcken, sobald sie keine Bewegung mehr zeigen, noch Brustmauern gleichfalls aus Béton ausgeführt werden, und zwar auf beiden Dämmen in den letzten 1600 Fufs langen Strecken. Es ist Absicht, diese Mauern auf die Mittellinie der Bétonblöcke zu stellen, und sie von ihrem landseitigen Ende bis zum Molenkopf von 2½ bis 4 Fufs Höhe ansteigen zu lassen, indem sie sich zugleich von 3 bis 6 Fufs verbreiten.

Für die Befestigung der Molenköpfe, auf denen Leuchtthürme errichtet werden sollen, sind sehr flache Dossirungen in Aussicht genommen, welche durch die bereits erwähnten Steinkisten dargestellt werden.

Nach vorstehnden Mittheilungen ist die Solidität dieser Bauten wohl nicht in Zweifel zu stellen, wenn gleich Beschädigungen, die der Reparatur bedürfen, nicht fehlen dürften. In Betreff des Bohrwurms ist noch zu erwähnen, dafs derselbe nicht nur an der Seeseite, sondern auch an der Stromseite der Dämme und zwar bis 40 000 Fufs aufwärts sich gezeigt hat. Dieses erklärt sich dadurch, dafs zuweilen das Seewasser in den Strom tritt. Die hierdurch veranlafsten Beschädigungen der Hölzer scheinen indessen nicht bedeutend zu sein, man hat auch bemerkt, dafs Stücke, die vom Wurm angegriffen waren, dennoch einige Festigkeit behalten hatten.

Es ist bereits erwähnt, dafs demjenigen Stromarm, dessen Mündung durch den Bau der Hafendämme verbessert wurde, nur ein sehr geringer Theil der ganzen Wassermasse des Mississippi zuflofs. Zur Sicherung des Unternehmens war es gewifs nothwendig, einer noch weitern Verminderung derselben vorzubeugen, und soweit es geschehn konnte, den Zuflufs zu verstärken.

Zunächst wurden zu diesem Zweck bei der Abzweigung des Grand-Bajou einige weit vortretende Buhnen erbaut, welche die Einströmung in diesen Nebenarm mäfsigen und vollständig auf-

heben sollten. Viel wichtiger aber war es, drei Deutsche Meilen aufwärts, wo der Mississippi sich in drei Arme spaltet, sowohl dem South-West-Pafs als auch dem Nort-Pafs oder dem Pafs-à l'Outre die Zuflüsse zu beschränken, um eine gröfsere Wassermasse dem South-Pafs zuzuweisen.

Hierzu kam noch ein andrer Umstand, der die Ausführung von Stromregulirungs-Werken nothwendig machte. Keiner von den drei Armen hatte nämlich in der Verbindung mit dem Mississippi die nöthige Fahrtiefe. Der ungetheilte Strom war unmittelbar vor seiner Spaltung 8500 Fufs breit, und die Untiefe erstreckte sich hier ohne Unterbrechung von einem Ufer bis zum andern. 1876 lief in die bereits vertiefte Mündung des South-Pafs ein Schiff von 16 Fufs Tiefgang ein, dasselbe konnte aber nicht in den Mississippi, also nicht bis New-Orleans gelangen, weil an der in Rede stehnden Stelle eine Barre lag, über der die Tiefe nur 13 Fufs mafs. Die Correction war hier bereits vorgesehn, der mit Eads abgeschlofsne Vertrag sprach sich darüber aber nicht bestimmt aus, und es war zweifelhaft, ob diese Arbeiten mit verdungen wären. Der Unternehmer entschlofs sich indessen dazu, hatte auch schon vorher eine lange Schöpfbuhne vor dem South-Pafs erbaut, die einen Theil des Wassers aus dem Pafs-à l'Outre diesem zuführen sollte. Er fügte aber nunmehr noch andre weit ausgedehntere Anlagen hinzu. Zwischen den beiden letzt erwähnten Stromarmen begrenzte er dieselben bis auf etwa 4000 Fufs oberhalb des Trennungspunkts durch Leitdämme und verband diese unter sich durch vier Querdämme. Die Einmündung in den South-Pafs wurde auch auf der andern Seite, neben dem Leuchtthurm durch einen solchen Damm eingefafst, der 800 Fufs vom gegenüber liegenden entfernt war. Die bedeutendste Anlage bestand aber darin, dafs sowol durch den South-West-Pafs als durch den Pafs-à l'Outre, nahe hinter ihrem Austritt aus dem Mississippi, niedrige Schwellen (Theil II, § 29) aus Senkstücken hindurchgelegt wurden. Von der im South-West-Pafs ausgeführten wird gesagt, dafs sie etwa um 20 Procent das Profil vermindert habe, und obwol ihre Krone 25 Fufs unter Wasser liegt, sie dennoch einigen Aufstau veranlasse.

Der Erfolg dieser Anlagen war, dafs nach der im Juni 1879 vorgenommenen officiellen Untersuchung eine Rinne von 200 Fufs

Breite und überall mindestens 26 Fuſs Tiefe den Mississippi mit dem South-Paſs verband; aus letzterem führte aber ein schmales, sogar 30 Fuſs tiefes Fahrwasser nach der offnen See. Dieses lag neben dem östlichen Damm und nahm in flacher Krümmung die Richtung nach Osten an, wo es bald die Tiefe von 40 Fuſs erreichte.

Es drängt sich die Frage auf, ob diese überaus günstigen Erfolge für die Dauer gesichert sind, und ob man nicht besorgen darf, daſs nach einigen Jahren vor der Hafenmündung wieder eine Untiefe sich bilden möchte. Die Möglichkeit dafür ist gewiſs nicht in Abrede zu stellen, und man muſs sogar ein solches Ereigniſs wenigstens als wahrscheinlich ansehn. Bei dem übermäſsigen Handelsverkehr, der durch diese Anlagen erleichtert und weiter entwickelt wird, verliert aber ein solches Bedenken seine Bedeutung, da die Kosten neuer Anlagen und weiterer Verlängerungen durch die dadurch erzielten Vortheile überreichlich aufgewogen werden.

§ 40 b.

Beispiele im Inlande.

Es ist bereits wiederholentlich der an der Mündung der Swine ausgeführten Bauten gedacht worden. Dieselben sind von solcher Bedeutung, daſs es nöthig erscheint, die Veranlassung und die Erfolge derselben eingehend nachzuweisen, und zugleich die nähere Beschreibung des Hafens damit zu verbinden.

Bevor der Ausbau des Swinemünder Hafens begonnen wurde, stellte der Erbauer desselben, der Geheime Oberbaurath Günther, über die Wirksamkeit eines flach gekrümmten Hafendamms, der die Strömung concentriren sollte, einen Versuch im Kleinen an.

Der Plauensche Canal, der die schiffbare Verbindung der Elbe mit der Havel darstellt, verlandete immer an der Ausmündung in den Plauenschen See. Die Strömung im Canal war ziemlich geringe und beschränkte sich meist auf das Wasser, das beim Durchschleusen der Schiffe abfloſs. Nur nach anhaltendem

starken Regen, wenn der Wasserstand im Canal sich zu sehr erhob, fand eine anhaltende Entlastung statt. Vor der Mündung in den See wurde versuchsweise an der rechten Seite ein etwas gekrümmter Damm aus Packwerk mit Steinbewurf ausgeführt, gegen dessen concave Seite der austretende Strom gerichtet war. Der Erfolg entsprach den Erwartungen, denn neben diesem Damm und über denselben hinaus bildete sich eine tiefere Rinne, welche bequem von den Schiffen durchfahren werden konnte.

Auf diese Erfahrung gestützt, wurde das Project zur Verbesserung der Swine-Mündung entworfen und ausgeführt, und es dürfte wenige Häfen geben, in welchen so günstige und so nachhaltige Erfolge erreicht sind. Beim Beginn des Baues mafs die Tiefe in der Einseglungslinie nur 7 bis $7\frac{1}{2}$ Fufs beim mittlern Wasserstande, sie hat sich aber seitdem auf mehr als 22 Fufs vergröfsert, und gegenwärtig können bei mittlerm Wasserstande und ruhiger Witterung Schiffe von 25 Fufs Tiefgang einkommen. Seit der ersten Erbauung der Hafendämme, also seit 56 Jahren, hat keine Erscheinung das Bedürfnifs zur Verlängerung derselben wegen Erhaltung der Tiefe im Fahrwasser angedeutet, auch ist in und aufserhalb der Mündung nur einmal, nämlich 1864, der Bagger benutzt worden, als es darauf ankam, den Hafen grofsen Kriegsschiffen bequem zugänglich zu machen, und selbst damals handelte es sich nicht um die Vertiefung, sondern nur um die Gradlegung des Fahrwassers, denn es wurden nur einige vortretende Ecken der auf der Westseite belegnen Sandbank beseitigt, deren Umfahrung vermieden werden sollte. Die in neuster Zeit erfolgte geringe Verlängerung der Ostmole bezweckte aber die Ueberbauung und Festlegung der flachen Steinböschung vor dem Kopf, die bei starkem Wellenschlag in Bewegung gesetzt und in den Hafen getrieben wurde.

Diesen grofsen Erfolg, der sich bald nach Erbauung der Dämme einstellte, schrieb Günther zum Theil dem Umstande zu, dafs der ganze Bau ohne Unterbrechung in der kurzen Zeit von 1818 bis 1823 zur Ausführung gebracht, nicht aber, wie anderweitig geschehn, nach längern Zwischenzeiten die Hafendämme immer in kurzen Strecken erbaut wurden, wobei der westliche Strand jedesmal eben so weit vorgetreten, und die auch gegenwärtig noch bestehnde Bucht, in welche der Küstenstrom eintritt,

und aus der er neben der Westmole abfliefst, verschwunden sein würde *).

Dafs eine spätere Verflachung gar nicht zu besorgen sei, läfst sich gewifs nicht behaupten. Seit dem Beginn des Baues sind wesentliche Aenderungen in den Tiefen vor dem Hafen eingetreten, und es haben sich ausgedehnte Sandablagerungen gebildet, die früher nicht existirten, die auch mehrere Jahrzehnte hindurch sich vergröfserten, und die, wenn sie auch seit 20 Jahren sich wenig verändert haben, dennoch vielleicht wieder weiter vortreten und das Fahrwasser beeinträchtigen. Diese Gefahr hat Günther nicht übersehn, indem er selbst auf die spätere Verlängerung der Molen hinweist. Er äufsert sich darüber in folgenden Worten:

„Man wird nicht immer die jetzige Richtung der Werke „beibehalten, sondern in einiger Entfernung eine neue Serpentine, „deren concaver Theil am westlichen Damm liegt, und deren Mündung mehr nach Nord-Nord-Ost ausgeht, bilden müssen.“

Unzweifelhaft darf man, wenn das Bedürfnifs zur Verlängerung eintritt, die gegenwärtige Krümmung nicht weiter fortsetzen, weil dadurch die Mündung nicht mehr nach der See, sondern nach dem Ufer gerichtet würde. Die Einführung einer entgegengesetzten Krümmung bietet aber der Schiffahrt in der Uebergangs-Periode unüberwindliche Schwierigkeiten. Sind die Hafendämme später etwa 100 Ruthen über den Wendepunkt hinaus verlängert, alsdann kann man im Schutz derselben die erforderliche Tiefe an der Stelle, wo der Schlauch von der rechten nach der linken Seite sich wendet, durch Baggern darstellen und erhalten, und die Schiffe werden, nachdem sie sich bereits hinreichend weit von der Hafenmündung entfernt haben, und von den einlaufenden Wellen nicht mehr hart getroffen werden, diesen Uebergang aus einer Krümmung in die entgegengesetzte machen können. In der Zwischenzeit aber, während die Molen verlängert werden, also noch nicht diesen Schutz bieten, würde für gröfsere Schiffe bei bewegter See das Einlaufen mit der äufsersten Gefahr verbunden, wenn nicht unmöglich sein. Das Bedürfnifs zur Ver-

*) Geschichte der Verbesserung des Fahrwassers an der Mündung der Swine von Günther, in den „Bauausführungen des Preufsischen Staats.“ Band I. Berlin 1830.

längerung der Molen ist indessen noch nicht vorhanden, und überdiefs bietet sich noch ein andres kräftiges Mittel zur Verstärkung des Stroms. Bevor indessen hiervon die Rede ist, müssen noch die seit Erbauung des Hafens erfolgten Sandablagerungen beschrieben werden.

Beide Molen, von denen die östliche 365 und die westliche $271^1/_2$ Ruthen lang waren (Fig. 101 auf Taf. XVI) wurden an alte Bohlwerke oder Steinkisten angeschlossen, gegen welche der Strand nur wenig vortrat. Von 1819 bis 1855 rückte der Strand in schräger Richtung an der westlichen Mole um 150 Ruthen, und zwar ziemlich gleichmäfsig vor, von der Wurzel dieser Mole entfernte er sich dagegen nur um etwa 90 Ruthen, also durchschnittlich in jedem Jahr um $2^1/_2$ Ruthen. In der Entfernung von 300 Ruthen rückte er dagegen nur um 25 Ruthen also jährlich nur etwa 8 Fufs vor, und im Abstande von 500 Ruthen von der Mole hatte diese keinen Einflufs auf ihn ausgeübt. Unmittelbar an der östlichen Mole ist der Strand in derselben Zeit etwa 30 Ruthen vorgetreten, in der Entfernung von 100 Ruthen dagegen kaum 10 Ruthen. Seit 1855 haben sich keine dauernden Veränderungen mehr merklich gemacht, wenn gleich nach Maafsgabe der Witterung der Strand sich bald verbreitete und bald wieder zurücktrat. Der Grund hiervon liegt vielleicht darin, dafs später jede Pflanzung, oder sonstige Anlage zum Auffangen des Sandes verboten war. An der östlichen Seite wich dagegen der Strand zurück, als die Mole mit einer Brustmauer versehn worden, und es mufste sogar ein Flügeldamm hier erbaut werden, um das Ufer zu schützen.

Der Kopf der Ostmole lag ursprünglich in der Vierfaden-Linie, und diese trat hier weiter vor, als in einiger Entfernung nach beiden Seiten. Der Kopf der Westmole wurde dagegen auf der Tiefe von $2^1/_2$ Faden erbaut, und weiter seewärts nahm dieselbe gleichmäfsig zu, so dafs Schiffe bis 14 Fufs Tiefgang unmittelbar neben diesem Kopf vorbeifahren konnten.

Hier hat sich nun seit jener Zeit eine langgestreckte Sandbank aufgeworfen, welche den Strom der Swine von dem durch die Westmole aufgefangnen und seewärts gerichteten Küstenstrom scheidet. Die kräftige Wirkung des letztern giebt sich dadurch zu erkennen, dafs die Bank an der äufsern Seite steil

abfällt, oder dafs die Tiefenlinien von 2, 3 und 4 Faden stellenweise sehr nahe neben einander liegen. Diese Bank hatte sich soweit ausgezogen, dafs 1857 die Zweifaden-Linie 270 Ruthen vom Kopf der Westmole entfernt war, wenn gleich unmittelbar neben dem letztern ein tiefer Kessel sich befindet, der aber auf keiner Seite, und am wenigsten auf der Seeseite mit tieferem Wasser in Verbindung steht. Die Dreifaden-Linie hatte sich von 1825 bis 1857 von 160 Ruthen auf 350 Ruthen, und in derselben Zeit die Vierfaden-Linie von 200 auf 400 Ruthen entfernt.

Diese sehr bedeutende Verlängerung der Bank erregte die Besorgnifs, dafs das Fahrwasser dabei schliefslich leiden möchte, wenn es auch unbedingt als ein sehr günstiger Umstand angesehn werden mufs, dafs der Küstenstrom nicht quer durch das Fahrwasser setzt, vielmehr sich der offnen See zuwendet. Die weitere Zunahme hat indessen in der neusten Zeit aufgehört und die Bank hat in den letzten 20 Jahren weder in ihrer Form, noch in ihrer Ausdehnung sich wesentlich verändert.

Um der möglichen Verflachung der Hafenmündung zu begegnen, kommt zunächst die Verminderung der durch den Küstenstrom herbeigeführten Sandmasse in Betracht. Da die Ufer der Insel Wollin von dem Ausflufs des Greifswalder Boddens ab mit mäfsigen Unterbrechungen sandig und in starkem Abbruch sind, so bleibt in dieser Beziehung namentlich vor den ausgedehnten königlichen Forsten noch viel zu thun übrig, wenn gleich an den dazwischen liegenden niedrigern Strecken seit etwa zwanzig Jahren für die Sicherung der Ufer und für die Bildung von Vordünen bereits sehr bedeutende und zum Theil auch recht erfolgreiche Anlagen zur Ausführung gekommen sind.

Demnächst läfst sich die Strömung der Swine in zweifacher Weise verstärken. Die Mündung derselben ist am Kopf der westlichen Mole 1060 Fufs breit. Dafs dieses Maafs überflüssig grofs ist, ergiebt sich sehr auffallend aus den hohen Sandablagerungen, die ungefähr die Hälfte der Breite so gesperrt haben, dafs selbst Fischerböte nicht darüber segeln können. Aufserdem befindet sich unmittelbar vor dem Kopf der westlichen Mole ein tiefer Kolk, durch welchen unter gewissen Witterungs-Verhältnissen gleichfalls ein Theil der Wassermenge abgeführt wird. Wenn daher die hier statt findenden Strömungen auch nicht sehr

bedeutend sind, so würde dennoch der neben der Ostmole austretende Strom merklich verstärkt werden, wenn die Westmole verlängert und schliefslich dem Kopf der Ostmole genähert würde.

Eine andre Anlage, die zur Verstärkung des Stroms und sonach zur Erhaltung der Tiefe in der Hafenmündung ohne Zweifel in weit höherem Maafse beitragen wird, ist die Eröffnung einer bedeutend kürzern Verbindung mit dem Haff. Dieses ist der Caseburger Durchstich, von dem bereits § 39 die Rede war. Derselbe wird jedoch zu einem ganz andern Zweck ausgeführt, nämlich um einen bequemeren Schiffahrtsweg zwischen Stettin und Swinemünde darzustellen. Der bisherge Weg durch die Swine ist nicht nur um eine volle Meile länger, als der neue sein wird, sondern die vielfachen Krümmungen und die darin sich stets bildenden Verflachungen verhindern häufig die Fahrten der bis 16 Fufs Tiefgang befrachteten Schiffe und fordern in jedem Jahr das Ausbaggern einzelner Rinnen, die wieder bei ihren verschiednen Richtungen nicht immer bei demselben Winde durchsegelt werden können. Zur Beseitigung dieser Uebelstände ist schon 1875 die Aushebung eines grofsen Schiffahrts-Canals begonnen, der etwa 1 Meile oberhalb Swinemünde zunächst nach Süden gerichtet ist, um die letzten Häuser des Dorfs Caseburg zu umgehn, und der alsdann sich etwas östlich wendet und in gerader Linie die Richtung über das sogenannte grofse Haff auf das Leuchtschiff hin verfolgt, welches den Eingang in das Papenwasser bei Ziegenort bezeichnet. Der Canal ist, soweit er über Land führt, 1600 Ruthen lang, seine Sohle ist 255 Fufs breit und liegt $18\frac{1}{2}$ Fufs unter Mittelwasser. Bei seinem Austritt in das Haff trifft er aber auf ein davorliegendes Schaar, in das die Rinne von gleicher Tiefe eingeschnitten werden mufs, woher die Baggerarbeiten noch 690 Ruthen weit in das Haff hinein fortzusetzen sind. Ohne Zweifel wird dieser Canal, sobald er eröffnet ist, bei anschwellender See gröfsere Wassermassen, als bisher, dem Haff zuführen und dadurch sowol die Ein- wie auch die Ausströmung im Hafen wesentlich verstärken.

Die Construction der Swinemünder Hafendämme wird im Folgenden eingehend beschrieben werden, man wählte dazu Senkstücke mit Steinbewurf und Ueberpflasterung des

letzten. Veranlassung hierzu gab der noch im Bau begriffene Wellenbrecher in Plymouth, von dem man sich damals volle Widerstands-Fähigkeit versprach, und von dessen Ausführung Günther auch persönlich Kenntnifs nahm. Die Beschaffung des erforderlichen Steinmaterials, wenn solches allein verwendet werden sollte, erschien indessen für Swinemünde zu kostbar, woher hier die Kerne der Dämme aus Senkstücken gebildet wurden. Wie in allen ähnlichen Fällen zeigte diese Steindecke sich aber wieder wenig haltbar. Die Steine, welche die flache äufsere Böschung bildeten, waren und blieben ein Spiel der Wellen, selbst als man aus Schweden Granitblöcke von 30 bis 40 Cubikfufs Inhalt zur Ueberdeckung benutzt hatte. Da der Nord-Ostwind hier den kräftigsten Seegang verursacht, so wurden bei jedem heftigen Sturm grofse Massen der Steine an der äufsern Seite des östlichen Damms in der Richtung von dessen Kopf nach der Wurzel getrieben, am Kopf selbst wurden aber viele solche um denselben herum nach der Hafenseite geworfen, so dafs sich in der Hafenmündung ein vortretendes Riff bildete, dessen Ausdehnung durch besondere Marken bezeichnet werden mufste. Endlich schleuderten die Wellen auch eine Menge Steine von jeder Gröfse auf die Krone des Damms und über diese fort in den Hafen. Daher bildete sich im Lauf der Zeit auf der Binnenseite ein durchschnittlich etwa 10 Fufs breites Banket, das wenig unter Wasser lag, über der ursprünglichen zweifüfsigen Dossirung. Die Krone selbst, auf der man nach jedem heftigen Sturm eine Masse Steine liegen sah, wurde häufig sehr stark beschädigt. Wenngleich niemals ein vollständiger Durchbruch erfolgt war, so wurde doch zuweilen nicht nur auf grofse Flächen das Pflaster aufgerissen, sondern auch die Schüttung darunter bis gegen den mittlern Wasserstand fortgeschlagen. Aufser diesen Beschädigungen zeigte sich noch bei starkem Seegange der Uebelstand, dafs die Wellen ungeschwächt über den Damm hinüberliefen und hinter demselben so starke Bewegung veranlafsten, dafs das Einbringen der Schiffe überaus erschwert wurde.

Die Beseitigung dieser Uebelstände war dringend geboten und zu diesem Zweck wurden von 1866 bis 1875 die nachstehnden Aenderungen und Vervollständigungen an der Ostmole ausgeführt, während die Westmole, die nur geringen Angriffen ausgesetzt

gewesen, in ihrer ursprünglichen Anordnung unverändert blieb und nur stellenweise, wo sie um mehrere Fuſs herabgesunken war, wieder bis zu der frühern Höhe gehoben wurde.

Der Kopf der alten Ostmole war in der Längenrichtung des Damms fünffüſsig abgeböscht, die Steine traten daher unter Wasser sehr weit vor, und wurden, wie bereits erwähnt, in den Hafen getrieben. Um dieses für die Folge zu verhindern, verlängerte man den Kopf, von der früheren Wasserlinie an gemessen, um 210 Fuſs, so daſs er bis zur Wassertiefe von 20 Fuſs sich erstreckte, und zwar wurde dieser Theil auf den Seiten und am äuſsern Ende nicht abgeböscht, sondern erhob sich steil mit der geringen Neigung von 1 zu 4 gegen das Loth aus dem Meeresgrunde. Eine ziemlich dicht schlieſsende Pfahlwand umgab ihn, dazwischen waren Steine geschüttet, und nach Anbringung einer sehr sorgfältig ausgeführten eisernen Verankerung wurde über Mittelwasser das ganze Werk übermauert. Die Breite dieses Werks in der Wasserlinie mit Einschluſs der Pfähle miſst 40 Fuſs.

Indem die Wirkung der Wellen in der Tiefe sich sehr vermindert, so ist hierdurch die Gefahr vollständig beseitigt, daſs nunmehr noch Steine vor den Kopf in den Hafen getrieben werden möchten, wenn solche von früherer Zeit auch noch vor demselben auf dem Grunde liegen. Wenn aber, wie nicht mehr zu besorgen ist, die Strömung vor dem neuen Kopf eine starke Vertiefung veranlassen sollte, wodurch dieser gefährdet werden könnte, so läſst sich solche unbedenklich durch vorgeschüttete Steine ausfüllen, doch dürfen diese nicht so hoch aufgebracht werden, daſs sie wieder von den Wellen in Bewegung gesetzt werden oder die Annäherung der Schiffe behindern.

Die Leuchtbaake auf dem alten Molenkopf, die im Unterbau massiv, im obern Theil aber in Holz erbaut war, ist nunmehr durch einen kleinen eisernen Thurm auf dem neuen Kopf ersetzt.

Um demnächst das Ueberschlagen der Wellen über die Mole und das damit verbundne Herübertreiben der Steine zu verhindern, ist seeseitig eine Brustmauer ausgeführt, die von der Wurzel ab bis gegen die alte Leuchtbaake 10 Fuſs, von hier bis zum neuen Kopf aber 11 Fuſs über Mittelwasser sich erhebt, und deren äuſsere Seitenfläche sich cylindrisch gegen die davor liegende

Steindossirung anschliefst. Aufserdem sind die Fugen des Pflasters der Krone mit einem schwachen Abfall nach der Hafenseite in Cement ausgestrichen, und Letzteres ist auch auf der seeseitigen Dossirung geschehn.

Hierdurch haben sich die Wirkungen eines starken Seegangs wesentlich verändert. Keine Welle läuft nunmehr über die Mole fort. Im Schutz der letztern befinden sich die einkommenden Schiffe wirklich schon im Hafen, und als vor wenig Jahren ein Schiff auf der seeseitigen Dossirung strandete, konnte die ganze Mannschaft von dem Lootsen-Schoner, der auf der innern Seite lag, gerettet werden, während die Mole selbst nicht zugänglich war. Die gegen die Brustmauer anlaufenden Wellen erheben sich lothrecht davor, der Schaum steigt 60 Fufs und darüber an, und grofse Wassermassen stürzen auf den Damm herab. Dabei geschieht es wohl auch noch, dafs Steine von mehreren Cubikfufs Inhalt mit herübergeworfen werden, aber im Allgemeinen hat dieses Ausheben der Steine aus der Dossirung doch aufgehört.

Da endlich die Erhaltung dieser Dossirung zur Sicherung des Damms nothwendig ist, und schon wegen der Brustmauer die Annäherung der Tiefe verhindert werden mufs, so ist eine Ueberdeckung mit schweren Bétonblöcken, meist von 1 Schachtruthe Inhalt, bereits an vielen Stellen ausgeführt, und hiermit wird, so oft das Bedürfnifs eintritt, fortgefahren, indem solche Blöcke an den am meisten bedrohten Stellen vorräthig gehalten werden. Diese neuern Anlagen sind unter Leitung des Regierungs- und Bauraths Dresel ausgeführt.

Was die Seemarken betrifft, so ist zunächst der weiter zurückstehnde Leuchtthurm zu erwähnen, der ein Fresnel'sches festes Licht I. Ordnung 205 über dem Meeresspiegel trägt. Die Leuchtbaake auf der Mole giebt rothes Licht. Das Fahrwasser vor der Mündung ist durch schwarze und weifse Tonnen bezeichnet, während eine Glocken-Buoye an Stelle der gewöhnlichen Aufsentonne verlegt ist. Dieselbe läutet nicht nur bei bewegter See, sondern ist auch mit einer Galerie versehn, die sicher einige Personen trägt.

Auf der Ostmole befindet sich auch die Winkbaake, deren bewegliche Ruthe den einkommenden Schiffen die Richtung anzeigt, in welcher sie gehn sollen, falls das Entgegen-

fahren der Lootsen unmöglich ist. Aufserdem zeigt die Winkbaake in Verbindung mit der Landbaake die tiefe Einseglungs-Linie bis über den Molenkopf an. Indem es jedoch häufig geschah, dafs die Schiffer ohnerachtet der mit der Winkbaake gegebenen Zeichen sich soweit westlich hielten, bis sie die ganze Hafenmündung frei vor sich sahn, so kamen sie der bereits erwähnten Sandbank zu nahe, und manche Strandungen waren dabei erfolgt, woher 1875 noch zwei Baaken auf die Ostmole gestellt wurden, welche diejenige Linie bezeichnen, über welche westwärts hinaus die Schiffe nicht gehn dürfen.

Innerhalb der Molen befindet sich auf der westlichen Seite die Lootsenwarte mit einem zugehörigen kleinen Bootshafen. In früherer Zeit hatte letzterer eine gröfsere Ausdehnung. Er hiefs damals der Wester-Nothhafen und diente eben so, wie der gegenüber liegende Oster-Nothhafen zum Unterbringen der Schiffe während des Eisgangs. In diesen legen sich auch gegenwärtig noch kleinere Fahrzeuge, während die grössern Schiffe vor der Stadt volle Sicherheit finden.

Auf dem westlichen Ufer liegt ferner der Bauhof mit den Werkstätten und einem geräumigen Hafen für die Bagger, Prahme, die fiscalischen Dampfbote und dergleichen. Etwas weiter aufwärts steht das Fährhaus und neben demselben das Schiffahrtsamt, das mit der eigentlichen Lootsenstation verbunden ist. Gegenüber liegt der Hafen für das schwimmende Dock, welches Seitens des Marine-Ministeriums hier erbaut und nunmehr von Kiel wieder zurückgebracht und nahe unterhalb die Hafenmündung verlegt ist, wie die Situationszeichnung nachweist. Dieser Hafen unterbricht in höchst störender Weise den Verkehr auf dem Ufer. Um ihn zu schliefsen und eine Verbindung über seine Mündung darzustellen, wurde zwar ein Ponton-Thor erbaut, das jedoch bisher noch nicht in Gebrauch genommen werden konnte, und seit Jahren wieder auf der Helling steht.

Neben der Stadt spaltet sich die Swine in zwei Arme, der westliche, der nur mäfsige Tiefe hat, jedoch auch gröfsere Schiffe, wenn sie leer sind, aufnehmen kann, dient vorzugsweise als Winterhafen und führt auch diesen Namen, während der tiefe Hauptstrom auf der östlichen Seite der Insel, die grüne Fläche genannt, vorbeiführt. Auf dieser Insel, wie auch auf

dem ihr gegenüber liegenden Ufer oberhalb der Stadt, befinden sich die Werfte und Hellinge zum Neubau und zur Reparatur von Schiffen.

Das östliche Ufer der grünen Fläche dient vorzugsweise für den Kohlenhandel. Die alten, mit keinen Spundwänden versehnen Bollwerke werden hier seit einigen Jahren umgebaut, so dafs auch tiefgehnde Schiffe anlegen können, während zugleich für diese die erforderliche Tiefe aufgebaggert wird. Daneben sind Kohlenplätze an Privatleute verpachtet, und in neuster Zeit ist noch in dieser Insel ein kleiner Hafen eingerichtet, in dem die grofsen Oderkähne, welche die Kohlen landeinwärts und namentlich nach Stettin führen, bequem befrachtet werden können. Aufserdem soll dieser Hafen auch als Liegeplatz für die Oderkähne dienen. Bisher blieben dieselben im Winterhafen, wo sie den Raum beschränkten und zugleich die Feuersgefahr wesentlich vergröfserten. Es ist indessen nicht leicht die Kahnführer zu diesem von der Stadt entfernteren Winterlager zu bewegen, weil alsdann die Bewachung ihrer Fahrzeuge schwieriger wird.

Endlich zeigt die Situations-Zeichnung auch noch die Eisenbahn, die im Anschlufs an die Vorpommersche Bahn (zwischen Berlin und Stralsund) längs des Hafens sich hinzieht.

Demnächst mögen die in neuster Zeit in einem andern bedeutend kleineren Hafen ausgeführten Arbeiten mitgetheilt werden. Dieselben bezweckten aufser der Beseitigung mancher Mängel im Innern desselben seine Sicherstellung gegen Verflachungen durch den Sand, den sowol ein kleiner Flufs aus dem Binnenlande, als auch die Küstenströmung und der Wellenschlag auf der Seeseite ihm zuführen. Die Anlagen, wie sie zur Ausführung kamen, sind freilich keineswegs als mustergültig zu bezeichnen, haben sich vielmehr bereits in mehrfacher Beziehung als ungeeignet erwiesen, aber eben deshalb dürfte die Beschreibung derselben und ihrer Erfolge besonders belehrend sein.

Es ist hier vom Hafen Stolpmünde in Hinter-Pommern die Rede. Derselbe wird von dem Stolpe-Flufs durchströmt. Schon § 39 wurde nachgewiesen, dafs dieser Flufs nur in einem sehr mäfsigen Gebiet seine Quellen sammelt, und daher keine genügende Strömung darstellen kann, um vor einem Strande, auf dem grofse Sandmassen treiben, dauernd ein tiefes Fahrwasser zu

erhalten. Es hatte sich indessen hier seit längerer Zeit ein erheblicher Verkehr gebildet, wozu vorzugsweise die Nähe der Stadt Stolp, der bedeutendsten im Cösliner Regierungsbezirk. Veranlassung gab. Der Flufs ist bis weit oberhalb Stolp flöfsbar und grofse Massen, sowol Scheitholz, wie ganze Stämme, gelangen auf ihm nach dem Hafen. Diese und die neben dem Hafen geschnittenen Dielen bilden vorzugsweise die Ausfuhr, man hoffte aber, dafs nach Eröffnung der Eisenbahn auch bedeutende Massen Getreide und Oelsamen hier verschifft werden würden. Die Einfuhr ist insofern erheblich, als ein grofser Theil von Hinter-Pommern von hier aus mit Colonial- und andern Waaren versehn wird.

Die Schiffe, welche den Hafen besuchten, hatten äufsersten Falls nur den Tiefgang von 9 Fufs, und sehr häufig konnten sie selbst mit diesem nicht einlaufen. Ein Pferdebagger ging zwar alsdann bei ruhigem Wasser heraus, um die fehlende Tiefe wiederherzustellen, aber es dauerte oft mehrere Monate, bis diese Hülfe geleistet war, und die ankommenden Schiffe mufsten alsdann auf der ganz ungeschützten Rhede liegen, bis sie hinreichend entlastet waren. Dieser Uebelstand war in der letzten Zeit um so häufiger und sogar dauernd eingetreten, da der Strand sich bis nahe an den Kopf der westlichen Mole vorgeschoben hatte. Abhülfe war also dringend geboten.

Im Anfange dieses Jahrhunderts standen die drei Häfen: Colbergermünde, Rügenwalder-Münde und Stolpmünde unter königlicher Verwaltung, doch geschah damals wohl nur sehr wenig für ihre Erhaltung und Verbesserung. Die zunächst liegenden Städte Colberg, Rügenwalde und Stolp übernahmen daher 1816 gegen Ueberlassung der Hafengelder und gegen eine geringe Entschädigung für einige bisher noch nicht zur Ausführung gekommene Bauten die Verwaltung. Manche Verbesserungen wurden darauf zwar angeregt, unterblieben jedoch, da von den sehr mäfsigen Einnahmen nur die Kosten der nothdürftigsten Unterhaltung bestritten werden konnten. Unter diesen Umständen wurden die Häfen 1833 wieder dem Staat übergeben.

Bisher hatten hier die Schiffe auch zur Zeit des Eisgangs frei in den Strömen gelegen, nunmehr wurden die sogenannten Winterhäfen sehr übereinstimmend in allen drei Häfen ein-

gerichtet. An einer besonders verbreiteten Stelle wurde nämlich jedesmal parallel zum Ufer eine Abschlufswand gezogen, neben der ein Bassin sich bildete, das nur an der untern Seite mit dem Strom in Verbindung stand, und das sonach der Sttömung und dem Eisgange entzogen war. Diese Abschlufswände waren aus zwei Pfahlreihen gebildet, wozwischen in derselben Art, wie im zweiten Theil dieses Handbuchs, § 38 und Fig. 143 angegeben, Senk-Faschinen gepackt wurden, doch mufsten wegen der gröfsern Wassertiefe stärkere und längere Pfähle zur Anwendung kommen. Dafs diese Constructions-Art sehr oft Ausbesserungen erforderte, darf kaum erwähnt werden, doch fand sie wegen ihrer Wohlfeilheit so viel Beifall, dafs sie hier auch zu Uferschälungen benutzt wurde, wobei noch eine der beiden Pfahlwände entbehrt werden konnte.

Wichtiger war die weitere Hinausführung der alten, aus Steinkisten bestehnden Hafendämme. Bei diesen kam nunmehr, wie in Swinemünde, der Bau mit Senkstücken und mit Steinbewurf und abgepflasterten Kronen zur Anwendung. Diese Bauten wurden vom damaligen Bauinspector Moek in diesen drei Häfen besonders solide ausgeführt, so dafs Beschädigungen und Versackungen, wie solche in Swinemünde, Pillau und Memel vielfach eingetreten sind, hier nur in weit geringerem Maafse sich zeigten. Aufserdem wurden auch im Innern der Häfen Bohlwerke neu erbaut und manche Verbesserungen in der Richtung und Construction derselben eingeführt. Nichts desto weniger blieb namentlich für Rügenwalder-Münde und Stolpmünde noch immer Vieles zu thun übrig.

Fig. 116 auf Taf. XX zeigt die Situation des Hafens Stolpmünde in seiner jetzigen Gestaltung. Im Jahr 1864 traten die beiderseitigen Molen nur wenig vor die Ufer vor, nämlich die linkseitige, soweit die punktirten Linien *a b* angeben, und die rechtseitige bis zu der kreisförmigen Verbreitung *c*. Der daran anschliefsende Hafen, der nur bis zur Mündung des Winterhafens sich erstreckte, war stellenweise bedeutend enger, als er jetzt ist, und die Bohlwerke daneben, meist ohne Spundwände erbaut, waren zum Theil in schlechtem Zustande, während weiter aufwärts bis zur Brücke die Ufereinfassungen nur aus Faschinen bestanden, die sich gegen kurze Pfähle lehnten. Der gröfste Uebelstand war

aber, dafs namentlich bei nördlichen Stürmen die Hafenmündung sich stark verflachte und häufig die Schiffahrt dadurch vollständig unterbrochen wurde.

Dieses war in den ersten Monaten des Jahrs 1859 geschehn. Als damals nach Abgang des Eises die Schiffahrt wieder eröffnet werden sollte, betrug die Tiefe auf der Barre vor dem Hafen nur 4 und auf einem schmalen Rücken sogar nur 3 Fufs. Glücklicher Weise war die Witterung so günstig, dafs der Pferdebagger draufsen arbeiten, und eine Rinne von 6 Fufs Tiefe bald darstellen konnte. Die westliche Mole erstreckte sich damals nur bis zum Punkt *a*, und wurde noch in demselben Jahr um 10 Ruthen bis nach *b* verlängert. Hierbei kam zuerst die später gewählte Constructionsart zur Anwendung, indem die sonst üblichen Steindossirungen unter Wasser fortgelassen wurden, und der Kern des Damms sich beiderseitig, wie auch am Kopf, gegen Pfahlwände lehnte.

Nach vier Jahren, nämlich im October 1863 hatte der Strand auf der Westseite wieder den neuen Molenkopf erreicht und trat sogar noch etwas vor denselben vor. Der Sand trieb also wieder unmittelbar vor der Hafenmündung vorbei, und die Verflachung des Fahrwassers war wieder nahe eben so grofs wie 1859, indem die Tiefe auf der Barre nur $4^1/_2$ Fufs mafs.

Eine neue Verlängerung der Westmole war daher dringend geboten, doch wurde nunmehr in Ueberlegung genommen, in welcher Weise die Hafenmündung zu behandeln sei, damit sie, wenn auch nicht für beständig, doch wenigstens für eine lange Reihe von Jahren sich offen erhalten könnte.

Vielfach wurde die Ansicht ausgesprochen, dafs die Verflachungen der Mündung nicht durch die See aufgeworfen werden, sondern vom Flufs herrühren, der allerdings von Stolp abwärts zwischen hohen sandigen und ungedeckten Ufern sein Bette eingeschnitten hat. Der Augenschein widersprach freilich dieser Ansicht, da die Barre vor der Hafenmündung eben so wie der Strand daneben aus grobem Seesande mit Kies vermengt bestand, während der Stolp-Flufs nur den feinen Sand zuführt, aus dem seine Ufer bestehn. Nichts desto weniger fand diese Ansicht doch so sehr Eingang, dafs sie nicht unbeachtet bleiben durfte und gewifs war nicht in Abrede zu stellen, dafs der Flufs

grofse Sandmassen in den Hafen wirft, die nur durch ausgedehnte Baggerungen beseitigt werden können.

Indem zugleich darauf Bedacht genommen wurde, die Strömung dem Hafen nicht ganz zu entziehn, dieselbe vielmehr zeitweise zu verstärken, so entstand zunächst ein Project, wonach der Stolpe-Flufs in einem neuen Bette auf der östlichen Seite des Hafens in die See geführt werden sollte, während durch Freiarchen sowol der neue Abflufs als die Verbindung mit dem Hafen zeitweise gesperrt würde. Man wollte nämlich bei Anschwellungen des Flusses seine Verbindung mit dem Hafen aufheben, wenn er dagegen nur reines Wasser führt, seine neue Mündung in die See schliefsen, und ihn so hoch aufstauen, dafs er bei plötzlicher Eröffnung der andern Arche sich mit Heftigkeit in den Hafen ergiefst und diesen nebst der Mündung vertieft.

Abgesehn von den sehr grofsen Anlage- und Entschädigungskosten eines solchen Unternehmens und den sonstigen unvermeidlichen Collisionen, die dadurch herbeigeführt würden, liefs die Beschaffenheit des Flufsthals in der Nähe des Hafens gar keinen Erfolg hiervon erwarten. Das Thal ist nämlich so beengt, dafs bei mäfsiger Anstauung nur eine sehr geringe Quantität Wasser zurückgehalten wird, wenn man aber das Wasser höher als 1 Fufs über den gewöhnlichen Stand aufstauen wollte, so würden die Gemüse-Gärten, die sämmtlich oberhalb der Stadt liegen, wie auch die wenigen andern Culturen übermäfsig leiden. Die Strömung würde daher nur während weniger Minuten etwas stärker sein, als sie gegenwärtig ist. Dazu kommt noch, dafs die Zuflufsöffnung zum Hafen oberhalb des Stauwerks ohnfehlbar bei jedem Hochwasser versanden würde, und dasselbe auch bei dem Ausflufs nach der See zu besorgen wäre, sobald die Ausströmung hier unterbrochen wird.

Von diesem Project mufste sonach abgesehn werden; um jedoch die Baggerungen im Hafen selbst zu beschränken, welche bei der geringen Breite desselben für den Schiffsverkehr sehr störend sind, wurde unterhalb der Chaussee-Brücke ein erweitertes Klärungs- oder Ablagerungs-Bassin von 8 Fufs Tiefe ausgehoben, bei dessen Durchströmung das Wasser einen grofsen Theil des mitgeführten Sandes fallen läfst. Dieses Bassin erfüllt in der That seinen Zweck, da es in jedem Jahr 4000 bis 5000 Schacht-

ruthen Sand auffängt. Die Baggerarbeiten werden dadurch allerdings nicht umgangen, auch nicht vermindert, aber sie können gegenwärtig ausgeführt werden, ohne dafs die Schiffe verholt und aus einzelnen Theilen des Hafens ganz entfernt werden dürfen. Auch bleibt der Hafen an allen Stellen stets nutzbar, so dafs die Schiffe überall anlegen können, wenn freilich auch hier die Verflachungen nicht ganz aufgehört haben.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs die Baggerungen in diesem Hafen durch die hohe Lage der beiderseitigen Ufer noch besonders erschwert werden. In der Nähe befindet sich kein Raum, wo der ausgehobene Sand bequem abgelagert werden kann. Bei ruhigem Wasser wird derselbe freilich in den mit Bodenklappen versehnen Prahmen durch das Bugsirboot weit in See gebracht, aber wenn dieses nicht möglich ist, bleibt nur übrig, ihn auf leichten Pferdebahnen bis zu einzelnen Schluchten in den beiderseitigen Dünen zu verfahren. Die Entfernungen werden dabei immer gröfser und bedeutende Steigungen lassen sich auch nicht vermeiden.

Was ferner die Verflachung der Hafenmündung durch den von der Seeseite antreibenden Sand und Kies betrifft, so war eine weitere Herausführung der Dämme unvermeidlich. Damit jedoch hierdurch nicht etwa, wie in Neufahrwasser ein schmaler langausgezogner Canal entstände, der für den Verkehr nur wenig nutzbar wäre, so schlug ich vor, die neue westliche Mole weiter zurückzulegen, so dafs sie von der östlichen 20 Ruthen entfernt wäre. Die Verbreitung war hier um so dringender geboten, als die bisherigen Molen ein nur 7 Ruthen breites Fahrwasser zwischen sich frei liefsen.

Demnächst sollten nach meinem Vorschlage die Molen normal gegen das Ufer weit in die See vortreten, damit die Küstenströmung scharf abgelenkt und dem tiefen Wasser zugekehrt, aber nicht unmittelbar gegen die neue Mündung gewiesen würde. Die östliche Mole sollte sich in ihrer Binnenseite an die alte scharf anschliefsen und unter Beibehaltung der sanften Krümmung des rechten Ufers sich ununterbrochen bis zum Kopf fortsetzen, woselbst auch letzterer nur seeseitig vortreten dürfte. Bei dieser Anordnung erwartete ich, dafs die Strömung vor dem concaven Ufer sich stark concentriren und um so kräftiger auf

die Barre vor der Mündung wirken würde. Ferner sollte keineswegs dieser Vorhafen in seiner ganzen Breite auf der Nordseite geöffnet bleiben, vielmehr von der westlichen Mole ein Flügel rechtwinklig gegen den Kopf der östlichen geführt werden, wozwischen die 10 Ruthen weite Mündung frei bliebe.

Wenn im Lauf der Zeit der Strand auf der Westseite wieder vorrückt, und endlich die Mündung nahe erreicht hat, in welchem Fall eine weitere Verlängerung der Dämme nöthig sein würde, wäre hierdurch Gelegenheit geboten, in gleicher Weise ein neues Bassin, dem ersten ganz ähnlich, davor wieder zu erbauen, wobei das erste in einen bequemen Binnenhafen sich verwandeln müfste. Die Länge dieses Bassins hatte ich aber um 5 Ruthen geringer angenommen, als die Zeichnung angiebt, und als es wirklich geworden ist.

Dieses Project wurde bei der Ausführung wesentlich abgeändert. Namentlich machte sich sogleich die Ansicht geltend, der neue Vorhafen sei so geschützt, dafs darin Schiffe bequem liegen könnten. Noch vor dem Beginn des Baues wurde daher der Antrag gestellt, denselben um 10 Ruthen, also auf 30 Ruthen zu verbreiten, damit wenigstens kleinere Fahrzeuge, die im Sturm hier Schutz suchen, darin Anker werfen und aufdrehn könnten. Diese Aenderung war nur mit wenig Mehrkosten verbunden und liefs sich ohne Nachtheil ausführen.

Von der projectirten, so wie auch von der zur Ausführung gebrachten Constructionsart der Molen wird später die Rede sein, hier mag nur angedeutet werden, dafs zwischen zwei Pfahlwänden, die so dicht sind, dafs keine Steine hindurchfallen, eine Steinschüttung sich bis 2 Fufs über den mittleren Wasserstand erheben sollte. In Entfernungen von 8 Fufs sollten Verankerungen 9 Fufs über Mittelwasser angebracht werden, welche die zur Vollendung des Baues nöthigen Ueberbrückungen tragen. Damit aber die Schüttung bei eintretenden Vertiefungen sich senken und gehörig ablagern könnte, sollte der Bau mindestens drei Jahre hindurch in diesem Zustande belassen werden, und alsdann erst dürfte man die sämmtlichen Anker bis zum Mittelwasser senken und die Schüttung übermauern, dieselbe auch seeseitig mit einer Brustmauer versehn.

Am 13. December 1864 wurden die Rammarbeiten der

Westmole begonnen und während des ganzen Winters fortgesetzt, indem nur an einem einzigen Tage die Arbeit wegen hohen Seeganges unterbrochen werden mufste. Dabei wurde aber sogleich die Aenderung eingeführt, dafs die Anker nicht 8 Fufs, sondern 9 Fufs von einander entfernt wurden. Diese Weite behielt man auch ohnerachtet vieler Erinnerungen bis auf zwei kürzere Strecken in der Nähe der Köpfe beider Molen bei. Als nach Abgang des Eises im nächsten Frühjahr die Schiffahrt wieder eröffnet wurde, erregte es das allgemeinste Erstaunen, die westliche Mole schon 40 Ruthen und mit Einschlufs der Rüstungen sogar 70 Ruthen weit in die See hinausgeführt zu sehn.

Schon damals wurden wieder zwei Vorschläge zur Abänderung des festgestellten Projects gemacht, nämlich erstens, die Hafenmündung 5 Ruthen weiter hinauszulegen, oder die beiden Dämme um soviel zu verlängern, weil dadurch die Tiefe von 19 Fufs zu erreichen sei, während sonst die Mündung nur 15 Fufs Tiefe haben würde, und sonach die gröfsten Schiffe den Hafen nicht benutzen könnten. Dieser Antrag wurde abgelehnt, da vorauszusehn war, dafs sehr bald in einem wie im andern Fall die vorhandne Tiefe auf dasjenige Maafs sich verringern würde, welches die Strömung offen erhalten kann. Der andre Vorschlag ging von der Ansicht aus, dafs das neue Bassin einen Liegeplatz für Schiffe bilden, und namentlich der Damm auf der Ostseite zum Laden und Löschen der Schiffe, besonders aber für Personen-Dampfböte eine bequeme Anlegestelle bieten würde, woher die bis zur Mündung fortgesetzte flach concave Krümmung aufgegeben und der neue Damm etwas zurückgelegt, so wie durch einen kurzen Flügel gedeckt werden sollte. Auch dieser Vorschlag würde nicht angenommen sein, da die Erwartungen in Betreff des Verkehrs im Vorhafen nicht getheilt werden konnten, und jedenfalls die Darstellung einer möglichst verstärkten Ausströmung von überwiegender Wichtigkeit war. Einige Lootsen erklärten indessen, dafs bei dieser Localität das Einlaufen der Schiffe bei westlichen Winden überaus gefährlich sein würde, wenn dieselben, nachdem sie die Mündung durchfahren haben, nicht noch etwas ostwärts treiben könnten. Obwohl diese Ansicht den bei Swinemünde gemachten Erfahrungen durchaus widersprach, durfte sie im Interesse der Schiffahrt nicht unbeachtet bleiben, woher diese

Aenderung genehmigt werden mufste. Die Unterbrechung der Streichlinie auf der innern Seite der Ostmole am alten Kopf (bei *c*), so wie auch die Richtung des neuen Damms in gerader Linie, lag aber keineswegs im ursprünglichen Project, vielmehr war die Beibehaltung einer gleichmäfsigen Curve, ähnlich wie bei dem Vorhafen von Rügenwalder-Münde (Fig. 117) auch hier vorgesehn.

Wenige Monate später wurde der Vorschlag zur Verlängerung des Vorhafens auf's Neue dringend wiederholt, und er erhielt nunmehr die Genehmigung, weil die betreffenden Mehrkosten nicht erheblich waren.

Der Bau schritt so schnell, wie er begonnen war, weiter fort, und bei dem heftigen Sturm am 14. und 15. December 1865 trat keine weitere Beschädigung ein, als dafs einige Rüstpfähle abgebrochen, und die Bohlen der Laufbrücke von den darunter aufsteigenden Wellen gelöst und zum Theil herabgeworfen wurden.

Im Anfange des Jahres 1866, als der Unterbau der beiderseitigen Molen noch nicht beendigt war, wurde schon die Uebermauerung derselben beantragt, um das Uebertreten der seitwärts anlaufenden Wellen in den Vorhafen zu hindern. Dabei wurde noch die Vermuthung ausgesprochen, dafs durch diese Wellen grofse Sandmassen hineingespült würden. Die nöthigen Geldmittel zur vollständigen Uebermauerung waren nicht vorhanden, das vorgelegte Project bezog sich daher nur auf die Ausführung einer Mauer in der halben Breite des Damms, und zwar auf der Seeseite, während auf der Binnenseite die Ueberbrückung in Holz beizubehalten sei. Um dabei die gegenseitige Verankerung der beiden Holzwände darzustellen, war vorgeschlagen, auf der innern Seite die bereits ausgeführte Verankerung bis zu dem mittelsten Pfahl jedes Jochs beizubehalten, diesen Pfahl aber unterhalb der Mauer durch einen eisernen Anker mit dem Gurtholz vor der äufsern Pfahlwand in Verbindung zu setzen. Obwol hierbei die Sicherheit wesentlich geringer war, als bei unmittelbarer Verbindung der beiden Pfahlwände mit einander, so wurde doch die Genehmigung zur versuchsweisen Ausführung dieser Construction im Anfange der Westmole ertheilt. Die Versandungen vor dem zuerst erbauten Theil derselben hatten sich so weit ausgedehnt, dafs hier eine Unterspülung der Steinschüttung nicht zu besorgen war, der Versuch erschien daher in keiner Weise bedenklich.

Kurze Zeit darauf wurde der Antrag auf Genehmigung dieses Oberbaues für beide Molen vielseitig und auch von der Kaufmannschaft dringend gestellt, indem hierdurch allein der Vorhafen nutzbar würde. Dazu kam noch, dafs bei dem Sturm im November 1866 der in dieser Art bereits ausgeführte Oberbau an der Wurzel der Westmole nicht beschädigt war. Die Genehmigung erfolgte daher, und während des Sommers und Herbstes 1867 wurden die Molen, wie auch die Köpfe derselben übermauert, obgleich die Steinschüttung darunter noch keinem heftigen Wellenschlage ausgesetzt gewesen, also Vertiefungen und Unterspülungen noch sehr zu befürchten waren.

Bei einem Sturm aus Nord-Nord-West stürzte am 5. November 1867 an der auf dem Situationsplan mit *f* bezeichneten Stelle etwa auf 3 Ruthen Länge die Mauer ein, indem die seeseitige Pfahlwand theils abgebrochen und theils niedergedrückt wurde. Diese Beschädigung wurde nur für einen gewöhnlichen Sturmschaden erklärt. Bei einem bald darauf folgenden Sturm aus Nord-Ost erfolgte dieselbe Zerstörung im Flügel der Westmole bei *g* auf etwa 3 Ruthen, und in der Ostmole bei *h* auf etwa 8 Ruthen Länge.

Um zunächst weitern Zerstörungen vorzubeugen, wurden sogleich gröfsere Steine massenhaft seeseitig gegen die Molen verstürzt, soweit darin noch Brüche oder Veränderungen in der Richtung zu bemerken waren. Um aber zu bestimmen, in welcher Weise die Werke wieder hergestellt, und wie sie vor ähnlichen Unfällen gesichert werden sollten, kam es zunächst darauf an, zu untersuchen, in welcher Art sie wirklich zur Ausführung gebracht waren, und zu ermitteln, durch welche Umstände der Einsturz veranlafst sei.

Kurze Zeit nach dem Eintritt des ersten Bruchs hatte die Peilung ergeben, dafs auf der Seeseite neben der betreffenden Stelle die Tiefe sich bis auf 3 Fufs unter der ursprünglichen Sohle der Steinschüttung vergröfsert hatte. An den andern Bruchstellen war dieses nicht zu bemerken, da inzwischen einige Zeit vergangen, und die Vertiefungen sich wahrscheinlich wieder gefüllt hatten. Die Eile, mit der die Schüttungen übermauert wurden, ist daher ohne Zweifel als Haupt-Veranlassung der eingetretenen Zerstörungen anzusehn.

Eine zweite ist in der mangelhaften Verankerung zu suchen. Die Mauern sind hier überall an solchen Stellen eingestürzt, wo man die Anker willkürlich auf 9 Fufs von einander entfernt hatte, während die beiden Zwischenstrecken, wo die Anker in der vorgeschriebnen Entfernung lagen, unversehrt geblieben waren.

Wichtiger ist ohne Zweifel die Art der Verankerung, die bei der Uebermauerung zur Ausführung gekommen war. Es darf nicht in Abrede gestellt werden, dafs die oben erwähnte Verbindung eines obern und eines untern Ankers, wobei also noch die Steifigkeit eines Pfahls in Anspruch genommen wurde, schon bedenklich war. Bei der nunmehr angestellten Untersuchung ergab sich aber, dafs selbst diese Verbindung nur bei jedem zweiten Anker angebracht war. Die innere Pfahlwand hatte man nämlich mit dem mittleren Jochpfahl, die äufsere dagegen mit dem zunächst stehenden verbunden, der unter der Mauer abgeschnitten war. Eine Verankerung der beiden Pfahlwände gegen einander bestand also nicht, wie veranschlagt war, in 8 Fufs, sondern nur in 18 Fufs Entfernung. Unglücklicher Weise hatte sich noch Gelegenheit geboten, Ankerketten ziemlich billig anzukaufen, und diese waren statt der Stabanker benutzt. Man schlang sie um die Pfähle und Gurthölzer, oder befestigte sie durch Klammern, und in beiden Fällen war es nicht möglich, die nöthige Spannung ihnen zu geben. Aufserdem schnitten sie auch bald in das Holz ein und wurden dadurch ganz locker, wie an den Molenköpfen, welche mit je drei Ketten umschlungen sind, noch zu sehn ist.

Durch welche Maafsregeln die Molen seitdem gesichert sind, wird später bei Behandlung der verschiednen Constructionsarten erwähnt werden. Die vorstehnde Mittheilung der Geschichte dieses Baues soll nur zur Vorsicht bei ähnlichen Ausführungen auffordern, und vor Nachgiebigkeit warnen, wenn auch von den verschiedensten Seiten gegen ein sorgfältig bearbeitetes Project Einsprüche erhoben werden. Gemeinhin sind dieses auch nicht Auffassungen verschiedner Personen, sondern stammen sämmtlich aus derselben Quelle her.

Fragt man nun, in wie weit die grofsen Erwartungen, die man von diesem Bau hatte, in Erfüllung gegangen sind, so hat zunächst die Erfahrung gezeigt, dafs wegen der heftigen Wellen-

bewegung kein Schiff an die östliche Mole anlegen kann. Der Wellenschlag blieb auch nach Uebermauerung der Steinschüttungen eben so stark, wie er früher gewesen war. Stellenweise war er sogar nahe eben so heftig, wie in offner See, indem die Wellen von dem Bohlwerk an der Südseite, das sich bis zur Höhe des Ufers erhob, ungeschwächt zurückgeworfen wurden, und beim Zusammentreffen mit den einlaufenden Wellen sich besonders hoch erhoben. Diesem Uebelstand ist in neuster Zeit dadurch begegnet, dafs dieses Bohlwerk in der Höhe des mittlern Wassers abgeschnitten und eine flache abgepflasterte Dossirung dagegen gelehnt ist. Auf diese laufen die Wellen auf, und behalten beim Rücklauf nur eine sehr mäfsige Höhe, so dafs sie kaum noch wahrzunehmen sind. Wenn es indessen bei der fortgesetzten Vertiefung des Vorhafens auch gelingen sollte, die Wellenbewegung noch mehr zu schwächen, so bleibt doch immer die Breite desselben zu geringe, als dafs Schiffe von etwa 10 Fufs Tiefgang, die bei bewegter See einkommen, darin Anker werfen und aufdrehn könnten. Bisher hat auch nur einmal ein kleines Fahrzeug, das Steine für den Bau geladen hatte, hier vor Anker gelegen. Dieses geschah bei sehr ruhiger Witterung, als eine photographische Ansicht des Hafens aufgenommen wurde.

In gleicher Weise ist auch die Hoffnung, dafs die ursprünglich in der Mündung des Vorhafens vorhandne Tiefe von nahe 20 Fufs sich dauernd erhalten, und durch keine Barre von der offnen See getrennt werden würde, nicht in Erfüllung gegangen. Bei der mäfsigen und oft ganz unterbrochnen Ausströmung legen sich zuweilen in kürzester Zeit grofse Sandmassen vor den Hafen, und die Tiefen der Fahrrinne sind daher sehr veränderlich. Sie wechseln im Lauf eines Jahrs, wenn sie auf den mittlern Wasserstand reducirt werden, gemeinhin um 2 Fufs. Am meisten bleiben sie noch constant während der Monate August, September und October. Für diese Monate waren die geringsten Tiefen in der Einseglungslinie bis zur Mündung des neuen Vorhafens beim mittlern Wasserstande:

1864 . .	10	Fufs (im April nur $4\frac{1}{2}$ Fufs)
1865 . .	12	„
1866 . .	14	„
1867 . .	16	„

1868 . .	18	Fufs
1869 . .	17	„
1870 . .	16	„
1871 . .	15	„
1872 . .	14	„
1873 . .	11	„
1874 . .	13	„
1875 . .	14	„
1876 . .	11	„
1877 . .	9 1/2	„
1878 . .	11 1/4	„
1879 . .	12	„

So starke Verflachungen, wie in früherer Zeit mehrfach sich wiederholten, sind nach Verlängerung der Molen bisher noch nicht wieder vorgekommen, aber es ergiebt sich aus dieser Zusammenstellung, dafs selbst die Tiefe von 12 Fufs, die im ursprünglichen Project in Aussicht genommen war, durch den Bau, wie er zur Ausführung gebracht ist, sich nicht dauernd darstellt. Jene Verlängerung des Vorhafens um 5 Ruthen hat daher ihren Zweck vollständig verfehlt.

Um in jeder Weise, so weit dieses möglich war, der Ablagerung des Sandes vor der Mündung des Vorhafens vorzubeugen, wurde gleichzeitig mit dem Beginn dieses Baues angeordnet, dafs auf der westlichen Seite des Hafens bis auf 200 Ruthen Entfernung keine Anlagen zum Auffangen des Sandes auf dem Strande ausgeführt werden dürften, weil durch solche der Strand sich verbreitet und dadurch der neuen Hafenmündung sich genähert hätte. Dagegen sollten in weiterer Entfernung und zwar wieder an der westlichen Seite, von wo die Küstenströmung den Sand herbeiführt, sowol Zäunungen, als Graspflanzung, soweit der Strand sich hierzu eignet, zur Ausführung kommen, um in neuen Vordünen grofse Sandmassen aufzufangen, oder solche der Küstenströmung zu entziehn. Auch auf der Ostseite des Hafens sollte dasselbe geschehn, und bedeutende Summen sind zu diesem Zweck angewiesen.

Schliefslich mag über den innern Hafen noch Einiges mitgetheilt werden. Derselbe ist in der letzten Zeit bis zur Mündung des Winterhafens aufwärts durch solide und mit Spund-

wänden versehene Bohlwerke eingeschlossen, so dafs man ihn bis an diese gehörig vertiefen kann, ohne den Einsturz der Ufer befürchten zu dürfen. Aufserdem ist der Hafen bei dieser Gelegenheit an den Stellen, wo er besonders beengt war, verbreitet. Auch sind, nach den mit der Stadt Stolp geschlossenen Verhandlungen, die Kais soweit verbreitet, dafs wenigstens überall die Ladung der Schiffe in Wagen an- oder abgefahren werden kann, und auf etwa 100 Ruthen Länge sind sowol neben der Stadt, wie auch an dem bereits verlängerten Winterhafen breite Kais gewonnen. Dem Bauhof gegenüber und am untern Ende des Winterhafens sind freilich die Uferstrafsen noch so schmal, dafs eine Lagerung von Gütern hier nicht statt finden darf, doch liefs sich hier ohne übermäfsige Beeinträchtigung der Privat-Interessen eine Aenderung nicht einführen.

Indem nunmehr die Eisenbahn bis Stolpmünde ausgeführt ist, die vorläufig bis an den Winterhafen sich fortsetzt, so werden voraussichtlich die durch punktirte Linien angedeuteten Aenderungen in Kurzem zur Ausführung kommen. Diese bestehn vorzugsweise in einer bedeutenden Vergröfserung des Winterhafens, wobei zugleich das Ufer in gerader Linie bereits durchgeführt und eine stark einspringende Ecke des Hafens abgeschnitten ist. Hierdurch ist auch Gelegenheit geboten, die Geleise weiter abwärts bis gegen den Vorhafen fortzusetzen. Indem der Winterhafen bei dieser Aenderung eigentlicher Hafen wird, in dem die Schiffe Frachten einnehmen und löschen, so soll er auf der westlichen Seite gleichfalls bis zum untern Ende des Klärungs-Bassins durch die Eisenbahn umfafst werden. Hierdurch wird ein Theil des letzten Bassins verschüttet, woher dieses an seinem obern Ende weiter verbreitet werden mufs, wie die Zeichnung angiebt.

Ohnfern des Vorhafens bei *d* befindet sich der in neuster Zeit erbaute kleine Hafen für die Lootsenböte, dessen Eingang durch eine Rollbrücke überdeckt, und der an der hintern Seite an eine geneigte Ebene sich anschliefst, auf welche die Böte gezogen werden können. Das kleine mit *e* bezeichnete Gebäude ist die Lootsenwache und an derselben befindet sich eine Vorrichtung zum Aufziehn einer rothen Laterne, die jeden Abend angezündet wird.

k ist das Hafenbau-Bureau verbunden mit Schuppen und

Hofräumen zum Aufbewahren von Baugeräthen und Materialien. Der eigentliche Bauhof liegt, wie die Zeichnung angiebt, auf dem westlichen Ufer und ist nicht nur mit einem geräumigen Bassin für die verschiednen zur Hafenbau-Verwaltung gehörigen Bagger, Dampfböte, Prahme und andre Fahrzeuge, sondern auch mit einer Helling versehn, auf welche selbst der Dampfbagger aufgewunden werden kann.

In neuster Zeit ist noch der Ausbau des benachbarten kleinen Hafens Rügenwalder-Münde begonnen. Wenn derselbe bisher auch eine etwas tiefere Einfahrt, als Stolpmünde zu haben pflegte, so stand er diesem in Betreff seiner ganzen Anlage doch bedeutend nach, und namentlich fehlte es ihm beinahe ganz an Anlegestellen und Kais, die dem öffentlichen Verkehr zugänglich gewesen wären. Auch seiner Lage nach dürfte man kaum erwarten, dafs er in commerzieller Beziehung einige Bedeutung erhalten könnte. Obwol nun sehr wesentliche Verbesserungen desselben beschlossen waren, so empfahl es sich dennoch ihn zugleich in andrer Art nutzbar zu machen, und ihn auch als Nothhafen einzurichten. Er wurde daher mit einem geräumigen Vorhafen versehn, der dem Wellenschlag weniger ausgesetzt ist, und in welchem kleinere Schiffe aufdrehn und vor Anker gehn können.

Fig. 117 zeigt die Situation. Die beiden Umschliefsungsdämme des Vorhafens, in ähnlicher Weise wie bei Stolpmünde ausgeführt, sind gegenwärtig (Ende 1879) in den Pfahlwänden und der Steinschüttung vollendet, auch der westliche Damm ohnfern der Wurzel übermauert. Der Kopf dieses Damms ist aber mit Fortlassung der Pfahlwand aus grofser Tiefe in Bétonblöcken bis nahe unter Mittelwasser bereits aufgeführt. Die Verankerung der beiderseitigen Pfahlwände ist in der Entfernung von 8 Fufs erfolgt, und das Princip der möglichsten Concentrirung des Stroms durch Leitung desselben längs eines schwach concaven regelmäfsigen Ufers ist vollständig durchgeführt, wogegen auch von keinem Lootsen Widerspruch erhoben wurde.

Wenn man in Betreff der Mäfsigung des Wellenschlags in diesem und dem Stolpmünder Vorhafen das von Stevenson aufgestellte Gesetz (§ 33) zum Grunde legt, und D wieder die Entfernung von der Mündung, x aber das Verhältnifs der Wellen-

höhe gegen diejenige in der offnen See bedeutet, so hat man

für Stolpmünde bei	$D =$	40	Ruthen	$x = 0{,}43$
	$D =$	70	„	$x = 0{,}41$
für Rügenwalder-Münde dagegen bei	$D =$	70	„	$x = 0{,}23$
	$D =$	100	„	$x = 0{,}21$

Hier würde also die Wellenhöhe auf den vierten und sogar auf den fünften Theil derjenigen in der offnen See sich ermäfsigen.

Was die sonstigen Verbesserungen dieses Hafens betrifft, so mufste vor Allem für ein geräumiges Hafenbassin mit Anlegestellen und Kais gesorgt werden, an welche sich zugleich die Geleise der bereits bis Rügenwalde geführten Eisenbahn anschliefsen. Dieser Hafen konnte aber nicht in der Nähe der Münde angelegt werden, da er hier die Fluthverhältnisse wesentlich geändert haben würde. Der Grabow-Flufs, der sich daselbst mit der Wipper vereinigt, durchfliefst ein weit geöffnetes Thal, das vielfachen Inundationen ausgesetzt ist, welche auf die Durchströmung des Hafens grofsen Einflufs üben. Diese durften nicht beschränkt werden, und zwar um so weniger, als sie auch den Culturen förderlich sind. Es blieb also nur übrig, das Bassin in die Nähe der Stadt Rügenwalde zu verlegen und die Wipper bis dahin, so weit es nöthig ist, zu vertiefen.

Dieser neue Hafen, dessen Mündung von dem Vorhafen 640 Ruthen entfernt ist, wurde 1878 rings mit Mauern eingefafst. Er liegt auf der linken Seite der Wipper, woher über diese eine Brücke erbaut wird, um die Verbindung mit Rügenwalde darzustellen. Er ist 52 Ruthen lang und 12 Ruthen breit. Die Wipper ist aber von der alten Brücke ab, welche die Situations-Zeichnung angiebt, aufwärts bis an den neuen Hafen auf 12 Ruthen in der Wasserlinie verbreitet und nahe auf 13 Fufs vertieft. Dieselbe Tiefe erhält auch dieser Hafen.

Der alte Hafen ist auf der rechten Seite mit einem Kai versehn, während er früher hier von Privat-Grundstücken begrenzt wurde, auch ist auf dem linken Ufer ein bequemer Zugang zum Winterhafen dargestellt.

Die Verlegung der alten Brücke etwas weiter stromaufwärts, so wie auch die Verbreitung des Hafens unterhalb der Brücke sind in Aussicht genommen.

Ende des zweiten Bandes.

13



